



TUGAS AKHIR - TM0141585

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI *SMALL OCTAGONAL ELBOW 90°* PADA
*CLOSED-LOOP SUBSONIC WIND TUNNEL***

ANANDHIKA TRISETYA
NRP 02111545000050

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI *SMALL OCTAGONAL ELBOW 90°* PADA
*CLOSED-LOOP SUBSONIC WIND TUNNEL***

Anandhika Trisetya
NRP 02111545000050

Pembimbing:
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM 141585

**EXPERIMENT STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS
THROUGH SMALL OCTAGONAL ELBOW 90 ° ON
CLOSED-LOOP SUBSONIC WIND TUNNEL**

Anandhika Trisetya
NRP 02111545000050

Supervisor :
Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI SMALL OCTAGONAL ELBOW 90° PADA CLOSED-LOOP SUBSONIC WIND TUNNEL

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

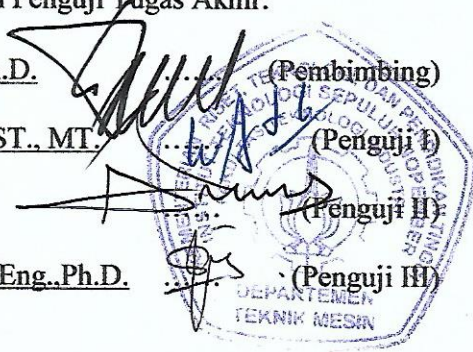
Oleh:

ANANDHIKA TRISETYA

NRP. 02111545000050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 196412281990031002 (Pembimbing)
2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.
NIP. 197104051997021001 (Penguji I)
3. Nur Ikhwan, ST., M.Eng.
NIP. 196709151995121001 (Penguji II)
4. Vivien Suphandani, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198105292003122001 (Penguji III)



**SURABAYA
JANUARI, 2018**



STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI SMALL OCTAGONAL ELBOW 90° PADA CLOSED-LOOP SUBSONIC WIND TUNNEL

Nama Mahasiswa : Anandhika Trisetya
NRP : 2115105050
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D

Abstrak

Pada *windtunnel* tipe saluran tertutup (*closed-loop*) terdapat elbow yang berfungsi untuk menghubungkan dua saluran lurus yang saling tegak lurus. Adanya *elbow* pada *closed-loop windtunnel* menyebabkan terjadinya kerugian tekanan pada aliran fluida. Perubahan arah aliran akibat sudut belokan pada *elbow* memberikan pengaruh yang besar terhadap *pressure drop*.

Untuk mengetahui karakteristik aliran pada *octagonal elbow* 90° maka dilakukan penelitian secara eksperimen. Model uji yang digunakan di dalam studi ini berupa *small octagonal elbow* 90° dengan radius ratio (r_m/D_h) = 0.66. Instalasi *elbow* pertama didahului rumah *fan* di sisi *upstream* dan *elbow* kedua diawali *straight duct* sebagai *upstream flow*. Pada penelitian ini digunakan bilangan Reynolds $Re_{Dh} = 2,08 \times 10^5$ dan $4,5 \times 10^5$.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berupa nilai ΔC_p *elbow* 1 pada $Re = 2,08 \times 10^5$ sebesar 1.50 dan pada $Re = 4,50 \times 10^5$ sebesar 1.50. Pada *elbow* 2, $Re = 2,08 \times 10^5$ sebesar 1.60 dan pada $Re = 4,50 \times 10^5$ sebesar 1.75. Perbedaan nilai C_p antara *inner* dan *outer elbow* menyebabkan terjadinya *secondary flow*. Profil kecepatan pada bidang horizontal menunjukkan terdapat *backflow* yang disebabkan adanya perbedaan tekanan pada sisi *outer* dan *inner* yang besar. Profil kecepatan pada bidang vertikal terdapat daerah kecepatan rendah pada sisi *centerline*. Intensitas turbulensi pada kedua *outlet elbow* saat $Re = 4,5 \times 10^5$ (11.30% dan 4.86%) lebih kecil daripada saat $Re = 2,08 \times 10^5$ (15.91% dan 7.36%)



karena saat bilangan *Reynolds* tinggi, kecepatan rata-rata dari aliran juga meningkat. Profil intensitas turbulensi pada outlet *elbow* 1 di pusat profil $z/a = 0.5$ sebesar 11.40% untuk bidang vertikal, untuk posisi $z/a < 0.1$ berada pada sekitar 12.30% dan untuk $z/a > 0.9$ berada pada sekitar 14.40%.

Kata kunci: *Karakteristik aliran, pressure drop, profil kecepatan, secondary flow, small octagonal elbow 90°.*



EXPERIMENT STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS THROUGH SMALL OCTAGONAL ELBOW 90 ° ON CLOSED-LOOP SUBSONIC WIND TUNNEL

Name of Student : Anandhika Trisettya
NRP : 2115105050
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D

Abstract

In a closed-loop windtunnel there is an elbow that serves to connect two straight lines perpendicular to each other. The presence of elbows on the closed-loop windtunnel causes a pressure loss on the fluid flow. Changes in direction of flow due to angle of turn in elbow give a big influence to pressure drop.

To know the flow characteristic at octagonal elbow 90 ° then conducted experimental research. The test model used in this study is small octagonal elbow 90° with radius ratio (r_m / D_h) = 0.66. The first elbow installation is preceded by a fan house on the upstream side and the second elbow begins straight duct as an upstream flow. In this study used Reynolds $Re_{Dh} = 2.08 \times 10^5$ and 4.5×10^5 .

The result of this research is the value of ΔC_p elbow 1 at $Re = 2.08 \times 10^5$ of 1.50 and at $Re = 4.5 \times 10^5$ of 1.50. In elbow 2, $Re = 2.08 \times 10^5$ is 1.60 and at $Re = 4.5 \times 10^5$ of 1.75. Differences in C_p value between inner and outer elbow cause secondary flow. The velocity profile in the horizontal plane indicates a backflow caused by a pressure difference on the outer and inner sides. The velocity profile in the vertical plane has a low velocity area on the centerline side due to the influence of the fan's hub. The intensity of turbulence at both elbow outlets at $Re = 4.5 \times 10^5$ (11.30% and 4.86%) is smaller than at $Re = 2.08 \times 10^5$ (15.91% and 7.36%) because when Reynolds numbers are high, the average velocity of the flow also increases. The turbulence intensity profile in outlet



elbow 1 at the center of the profile $z/a = 0.5$ is 11.40% for the vertical plane, for $z/a < 0.1$ positions at about 12.30% and for $z/a > 0.9$ at about 14.40%.

Keywords: Flow characteristic, pressure drop, secondary flow, small octagonal elbow 90°, velocity profile.



KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak.

Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
2. Ibu B. Chusnul Mufidah, ibu nomer satu dunia, atas segala cinta, kesabaran dan doa yang dipanjatkan untuk penulis senantiasa menemani, mengiringi dan menguatkan penulis dalam menjalani setiap masa perkuliahan.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng. Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
4. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT, Bapak Nur Ikhwan, ST., M.Eng, serta Ibu Vivien Suphandani ST., M.Eng, Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
5. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan dan kesabaran serta motivasi bapak selama ini.
6. Bapak Sutrisno selaku pembimbing di lab. Mekanika Fluida yang telah membimbing dan memberikan saran-saran selama dalam pembuatan alat dan pengambilan data eksperimen.
7. Seluruh keluarga penulis, atas motivasi dan dukungannya.



8. Teman-teman lintas jalur teknik mesin 2015, yang selalu setia menemani penulis selama pengambilan data dan penulisan buku ini.
9. Nabila Prastiya Putri, atas kesabaran dan pengertiannya menemani penulis menjalani tugas akhir ini.
10. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS.
11. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 22 Januari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Terowongan Angin (<i>Wind Tunnel</i>).....	5
2.2. <i>Elbow</i> pada <i>Wind Tunnel Closed-loop</i>	7
2.3. Persamaan Euler Pada Koordinat <i>Streamline</i>	8
2.4. Proses Terjadinya Separasi pada <i>Elbow</i>	10
2.5. Proses Terjadinya Aliran Sekunder pada <i>Elbow</i>	11
2.6. <i>Coefficient of Pressure (Cp)</i>	12
2.7. Distribusi Tekanan Sepanjang <i>Inner</i> dan <i>Outer Wall Elbow</i>	13
2.8. Karakteristik Aliran di Dalam <i>Elbow</i>	14
2.9. Intensitas Turbulensi	19
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Instalasi Penelitian.....	21
3.2. Peralatan Pendukung	25
3.3. Analisa Dimensi Parameter-parameter yang Dianalisa	28
3.4. Langkah-Langkah Eksperimen.....	31
3.4.1. Prosedur Validasi Data	31
3.4.2. Pengambilan Data Kuantitatif	32
3.4.3 Pengolahan Data Kuantitatif	33
3.5. Flowchart Penelitian.....	38



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi <i>Pressure Coefficient</i> (C_p)	39
4.2 Distribusi Profil Kecepatan	45
4.2.1 Profil Kecepatan Bidang Horizontal	46
4.2.2 Profil Kecepatan Bidang Vertikal	49
4.3 Intensitas Turbulensi	51
4.4 Profil Intensitas Turbulensi	56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	60

DAFTAR PUSTAKA	61
-----------------------------	----



DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1 <i>Open loop wind tunnel</i>	6
Gambar 2.2 <i>Closed circuit wind tunnel</i>	6
Gambar 2.3 <i>Elbow 90° pada windtunnel closed-loop</i> dengan <i>guide vanes</i>	7
Gambar 2.4 Partikel fluida yang mengalir sepanjang <i>streamline</i>	8
Gambar 2.5 <i>Separation region</i> pada <i>circular elbow 90°</i>	10
Gambar 2.6 <i>Secondary flow</i>	11
Gambar 2.7 <i>Secondary flow</i> pada <i>rectangular elbow 90°</i>	12
Gambar 2.8 Distribusi tekanan pada <i>curved wall</i> (a) <i>concave wall</i> (b) <i>Convex wall</i>	13
Gambar 2.9 Distribusi tekanan pada <i>curved pipe</i>	14
Gambar 2.10 Profil kecepatan dan intensitas turbulensi pada <i>downstream elbow</i>	15
Gambar 2.11 <i>Secondary flow</i> pada masing-masing <i>cross section elbow 90°</i>	16
Gambar 2.12 Profil Tekanan aliran pada setiap variasi <i>Re</i> (a) 3 Guide Vane, (b) 2 Guide Vane, (c) 1 Guide Vane, (d) Tanpa Guide Vane	18

BAB III

Gambar 3.1 Skema instalasi <i>Windtunnel</i>	21
Gambar 3.2 Skema penelitian <i>octagonal elbow</i> kecil 1	23
Gambar 3.3 Skema penelitian <i>octagonal elbow</i> kecil 2	24
Gambar 3.4 Lokasi Perhitungan untuk Profil Kecepatan <i>small elbow</i>	26
Gambar 3.5 <i>Inclined manometer</i>	27
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> penelitian	38

BAB IV

Gambar 4.1 Distribusi <i>Cp inner – outer octagonal elbow 90°</i> 1 pada <i>Re</i> = 208000 dan <i>Re</i> = 45000.....	40
Gambar 4.2 Distribusi <i>Cp inner – outer octagonal elbow 90°</i> 2 pada <i>Re</i> = 208000 dan <i>Re</i> = 450000.....	41



Gambar 4.3 Distribusi:

- (a) *Cp elbow 1 dan 2 pada $Re = 2.08 \times 10^5$*
- (b) *Cp elbow 1 dan 2 pada $Re = 4.5 \times 10^5$43*

Gambar 4.4 Distribusi:

- (a) *Cp sudut belokan elbow 1*
- (b) *Cp sudut belokan elbow2.....44*

Gambar 4.5 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan

small elbow 45

Gambar 4.6 Distribusi Profil Kecepatan Pada Bidang

Horizontal Pada $Re = 208000$ dan

$Re = 450000$ 48

Gambar 4.7 Distribusi Profil Kecepatan Pada Bidang

Vertikal Pada $Re = 208000$ dan

$Re = 450000$ 50

Gambar 4.8 Lokasi pengambilan intensitas turbulensi

small elbow 51

Gambar 4.9 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara

inlet elbow 1 pada:

(a) $Re = 2.08 \times 10^5$

(b) $Re = 4.5 \times 10^5$52

Gambar 4.10 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara

outlet elbow 1 pada:

(c) $Re = 2.08 \times 10^5$

(d) $Re = 4.5 \times 10^5$53

Gambar 4.11 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara

inlet elbow 2 pada:

(e) $Re = 2.08 \times 10^5$

(f) $Re = 4.5 \times 10^5$54

Gambar 4.12 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara

outlet elbow 2 pada:

(g) $Re = 2.08 \times 10^5$

(h) $Re = 4.5 \times 10^5$55

Gambar 4.13 Lokasi pengukuran profil intensitas turbulensi

small octagonal elbow 57



Gambar 4.14 Profil Intensitas Turbulensi (a) <i>section 1</i> (b) <i>section 2</i> , pada bidang horizontal.....	58
Gambar 4.15 Profil Intensitas Turbulensi (a) <i>section 1</i> (b) <i>section 3</i> , pada bidang vertikal.....	58



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh Penambahan Guide Vane Terhadap Pressure Drop.....	17
Tabel 3.1 Posisi pengukuran <i>pressure tap</i> pada <i>octagonal elbow 90°</i>	25
Tabel 3.2 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan <i>small elbow</i>	26
Tabel 3.3 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya	37
Tabel 4.1 Persentase peningkatan <i>wall pressure coefficient</i> <i>small octagonal elbow 90°</i> 1 dan 2 pada $Re = 2,57 \times 10^5$ dan $Re = 4,63 \times 10^5$	42
Tabel 4.2 Lokasi Perhitungan Untuk Profil Kecepatan <i>Small Elbow</i>	46
Tabel 4.3 Lokasi pengambilan intensitas turbulensi <i>Small Elbow</i>	51
Tabel 4.4 Perbandingan nilai intensitas turbulensi pada <i>inlet</i> dan <i>outlet elbow</i> setiap variasi <i>Reynolds</i>	56
Tabel 4.5 Lokasi pengukuran profil intensitas turbulensi <i>small octagonal elbow</i>	57



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR SIMBOL

Simbol geometri *octagonal elbow* 90°

- a : tinggi *cross section elbow* 90°, (m)
- b : lebar *cross section elbow* 90°, (m)
- r : posisi arah normal terhadap *streamline elbow* 90°, (m)
- r_i : *inner radius*, (m)
- r_o : *outer radius*, (m)
- s_i : posisi searah *streamline* dinding dalam *elbow* 90°, (m)
- s_o : posisi searah *streamline* pada dinding luar *elbow* 90°, (m)
- l_i : panjang total *inner* searah *streamline elbow* 90°, (m)
- l_o : panjang total *outer* searah *streamline elbow* 90°, (m)
- D_h : diameter hidrolik saluran, (m)
- L_i : panjang *inlet elbow* 90°, (m)
- L_o : panjang *outlet elbow* 90°, (m)

Δp : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi, (N/m²)

U_{ref} : kecepatan *freestream* di *inlet elbow* 90°, (m/s)

u : kecepatan lokal, (m/s)

C_p : *wall pressure coefficient*, $C_p = (p_{s,i} - p_{ref}) / (0.5 \cdot \rho \cdot U_{ref}^2)$,
tak berdimensi

g : percepatan gravitasi, (kg/m²)

$p_{s,i}$: tekanan statis dinding pada $x/D_h = i$, (Pa)

p_{ref} : tekanan statis referensi pada $x/D_h = 0$, (Pa)

p_o : tekanan stagnasi, (Pa)

p_s : tekanan statis sejajar dengan *stagnasi pressure tube*, (Pa)

Re_{Dh} : bilangan *Reynolds* = $\frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}$, tak berdimensi

SG : *specific gravity*, tak berdimensi

T : temperatur ruangan, (°C)

s_i/l_i : koordinat sepanjang *streamline* berdasar panjang sisi *inner*,
tak berdimensi

s_o/l_o : koordinat sepanjang *streamline* berdasar panjang sisi *outer*,
tak berdimensi

z/a : koordinat vertikal, tak berdimensi

r/b : koordinat normal *streamline*, tak berdimensi



ΔC_p : selisih C_p maksimum di sisi *outer* dan C_p minimum di sisi *inner*, tak berdimensi

$\frac{\partial p}{\partial x}$: gradient tekanan, (N/m³)

$\frac{du}{dy}$: *gradient* kecepatan aliran (s⁻¹)

Δh : selisih bacaan awal dan akhir manometer, (mm)

ν : viskositas kinematis udara, (m²/s)

ρ_{H_2O} : massa jenis air, (kg/m³)

ρ_{ud} : massa jenis udara, (kg/m³)

φ : sudut *inclined manometer*, derajat

π : grup bilangan tak berdimensi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini teknologi dan ilmu pengetahuan sangat cepat perkembangannya. Di bidang aerodinamika khususnya, teknologi terowongan angin (*windtunnel*) juga mengalami perkembangan. Terowongan angin (*windtunnel*) digunakan untuk menganalisa efek angin yang bergerak di sekitar objek. Terowongan angin (*windtunnel*) pertama kali dibuat pada tahun 1871 oleh Francis Wenham dan John Browning dari Inggris.

Menurut bentuknya, terowongan angin dibagi menjadi dua jenis yaitu: saluran terbuka (*open-loop*) dan saluran tertutup (*closed-loop*). Pada *windtunnel* tipe saluran terbuka (*open-loop*) udara mengikuti jalur lurus dari jalur masuk melalui kontraksi ke *test section*, diteruskan ke *diffuser*, lalu ke *guide van*, dan keluar ke udara terbuka. Pada *windtunnel* tipe saluran tertutup (*closed-loop*) mempunyai jalur tertutup (kontinu) untuk udara. Kedua tipe ini memiliki perbedaan yang dapat dipahami dari segi kelebihan. Pada tingkat efisiensi, tipe *closed-loop* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari pada tipe *open-loop* dikarenakan tenaga untuk menggerakkan kipas lebih kecil, hal ini dapat dipahami bahwa pada *windtunnel* tipe *closed-loop* udara akan terus bergerak sepanjang terowongan.

Pada *closed-loop windtunnel* terdapat *elbow* yang berfungsi untuk membelokkan aliran udara agar terus berputar di dalam saluran. Menurut Gonzales (2013), adanya *elbow* pada *closed-loop windtunnel* menyebabkan terjadinya kerugian tekanan pada aliran fluida. Perubahan arah aliran akibat sudut belokan pada *elbow* memberikan pengaruh yang besar terhadap *pressure drop*. Besar pengaruh empat *elbow 90°* pada *closed-loop windtunnel* lebih dari 50% terhadap total *pressure drop* yang dihasilkan.

Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian secara eksperimen pada sebuah *rectangular elbow 90°* dengan 4 variasi



pemasangan guide vane, yaitu tanpa *guide vane*, satu *guide vane*, dua *guide vane*, dan tiga *guide vane*. Hasilnya pada *elbow 90°* dengan penambahan guide vane akan meningkatkan nilai *pressure drop*, dikarenakan adanya tambahan gesekan pada permukaan *solid surface* seiring menambahnya luasan yang disebabkan guide vane. Penelitian Abel (2016) menyimpulkan bahwa profile kecepatan pada inlet terdapat backflow yang disebabkan karena adanya pengaruh *small elbow* pada bagian sebelum inlet. Profil aliran juga dipengaruhi *wake* akibat adanya rotor penggerak pada poros fan. Sehingga hal ini mempengaruhi profil aliran inlet elbow.

Penelitian yang akan dilakukan selanjutnya mengacu pada pengaruh profil aliran sebelum *inlet small elbow 90°*, dimana posisi sebelum *inlet elbow* terdapat rotor penggerak dan poros fan yang dapat mempengaruhi profil aliran saat masuk *elbow*. Mengacu pada konstruksi *closed-loop wind tunnel*, pada *small elbow 90°* pertama, profil aliran dipengaruhi oleh konstruksi fan sebelum *small elbow 90°* pertama. Pada *small elbow 90°* kedua, *profil aliran* dipengaruhi oleh *straight channel* sebelum *small elbow 90°* kedua.

1.2 Perumusan Masalah

Dari penelitian yang dilakukan Abel (2016), maka *flow parameter* sebelum inlet pada elbow dapat mempengaruhi *pressure drop*, profil kecepatan, dan intensitas turbulensi aliran saat melewati *elbow*. Permasalahan terkait dengan aliran di dalam *elbow* pada *closed-loop windtunnel* dapat diringkas sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi profil kecepatan pada bidang vertikal dan horizontal pada *small octagonal elbow 90°*?
2. Bagaimana *small octagonal elbow 90°* dapat berpengaruh terhadap intensitas turbulensi?



1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menjelaskan fenomena-fenomena yang terjadi akibat *flow parameter* sebelum inlet pada *rectangular elbow 90°* di *closed-loop windtunnel*, dimana pada konstruksi *small elbow 90°* pertama didahului oleh *fan* dan *small elbow 90°* kedua didahului oleh *straight channel*. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi profil kecepatan searah vertical dan horizontal pada *small octagonal elbow 90°*.
2. Mengetahui intensitas turbulensi pada daerah *outlet downstream small octagonal elbow 90°*.
3. Mengetahui distribusi tekanan yang dinyatakan dalam *Coefficient of pressure (C_p)*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Fluida yang bekerja adalah udara.
2. Aliran udara bersifat *incompressible*, *viscous*, dan aliran yang masuk pada *test section elbow* adalah turbulen.
3. Penelitian dilakukan pada kondisi isothermal, dimana tidak terjadi perpindahan panas antara fluida dengan system.
4. Tidak ada kekasaran pada permukaan saluran udara.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

Terowongan angin atau *Wind Tunnel* adalah peralatan yang digunakan untuk menganalisa efek angin yang bergerak di sekitar model atau objek. Menurut bentuknya, terowongan angin dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu terbuka (*open-loop*) dan tertutup (*closed-loop*).

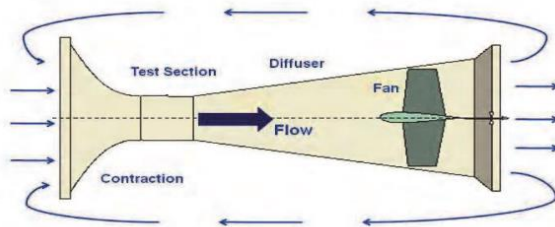
Udara pada terowongan angin terbuka (*open-loop*) mengikuti jalur lurus dari jalur masuk sampai keluar terowongan angin, terowongan angin terbuka mempunyai sirkuit yang terbuka bagian depan dan belakangnya. Seperti pada gambar 2.1 komponen terowongan angin secara berurutan terdiri dari, *honeycomb*, *nozzle*, *test section*, *diffuser*, dan *fan*. Udara yang digunakan pada terowongan angin ini berasal dari udara bebas yang terhisap masuk ke dalam terowongan dan kemudian dibuang kembali ke udara bebas di bagian belakang terowongan. Kelemahan dari terowongan angin ini ialah sangat tergantung pada kondisi udara luar seperti, tekanan udara, kecepatan angin, serta temperature udara. Untuk ukuran tertentu dan kecepatan tertentu dibutuhkan energi yang besar, serta menimbulkan kebisingan sehingga mengakibatkan masalah lingkungan dan membatasi jam operasi agar tidak mengganggu lingkungan. Keuntungan dari terowongan angin ini ialah biaya konstruksi yang relatif murah dibandingkan dengan terowongan angin tertutup.



National Aeronautics and Space Administration



Open Return Wind Tunnel



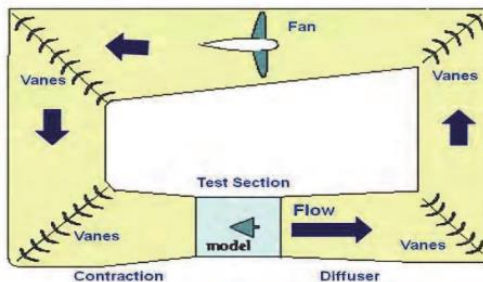
Gambar 2.1 Open loop wind tunnel (Libii, 2011)

Terowongan angin sistem tertutup (*closed-loop*) mempunyai jalur tertutup (kontinyu) untuk udara. Pada gambar 2.2, komponen terowongan angin tipe tertutup meliputi, *honeycomb*, *nozzle*, *test section*, *first diffuser*, *second diffuser*, *small elbow 90°*, *large elbow 90°*. Terowongan jenis ini mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan terowongan angin jenis terbuka, karena pada jenis terowongan angin ini udara akan terus bergerak sepanjang terowongan. Dengan begitu, fungsi kipas hanya untuk mengatasi kerugian tekanan yang terjadi akibat adanya gesekan-gesekan pada dinding sepanjang terowongan.

National Aeronautics and Space Administration



Closed Return Wind Tunnel

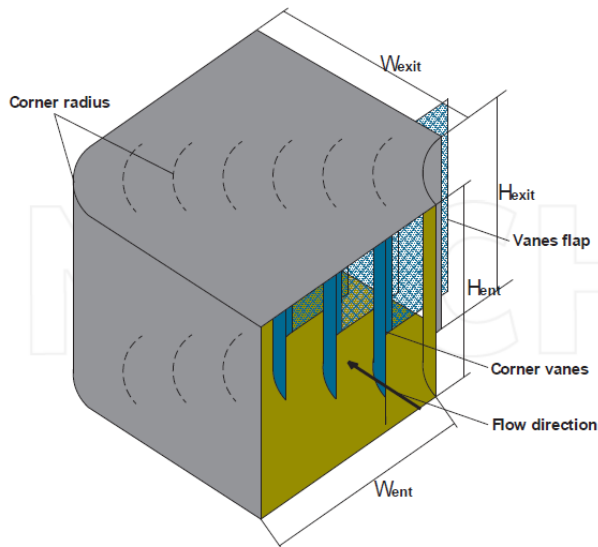


Gambar 2.2 Closed circuit windtunnel (Libii, 2011)



2.2 Elbow pada Wind Tunnel Closed-loop

Pada terowongan angin jenis tertutup terdapat elbow 90° yang berfungsi membelokkan aliran udara agar terus berputar di dalam saluran. Adanya elbow 90° menyebabkan terjadinya kerugian tekanan pada aliran fluida. Perubahan arah aliran akibat sudut belokan pada elbow 90° memberikan pengaruh yang besar terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*). Besar pengaruh empat elbow 90° pada terowongan angin tipe tertutup lebih dari 50% terhadap total *pressure drop* yang dihasilkan. Untuk mengurangi *pressure drop* maka, pada elbow harus ditambahkan *guide vanes* (Gonzales, 2013).

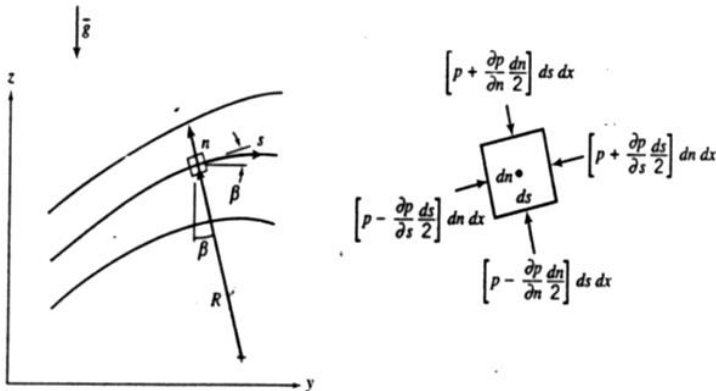


Gambar 2.3 Elbow 90° pada windtunnel closed-loop dengan *guide vanes* (Gonzales, 2013)



2.3 Persamaan Euler pada Koordinat *Streamline*

Streamline adalah suatu garis yang digambarkan dalam suatu fluida dimana selalu membuat sudut tangensial (garis singgung) setiap titiknya pada arah dengan kecepatan tertentu. Apabila kecepatan partikel pada suatu titik tertentu tidak tergantung dari pada posisinya dan juga waktu, maka *streamline* tersebut berubah dari keadaan sesaatnya. Setiap kecepatan aliran hanya diwakili satu *streamline* sehingga tidak ada aliran yang menyebrangi atau melintasi *streamline* lain. Hal ini membuat *streamline* seakan menjadi batas padat yang tidak bisa ditembus oleh aliran (*imaginary solid boundary*).



Gambar 2.4 Partikel fluida yang mengalir sepanjang *streamline* (Fox dan Mc. Donald, 1998)

Berdasarkan gambar 2.4 gerakan partikel aliran dapat diketahui dalam koordinat *streamline* yang dibangun dari persamaan Euler pada *inviscid flow* yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p . \quad (2.1)$$



Dari persamaan 2.1 dapat dijelaskan hubungan antara tekanan dengan kecepatan dari partikel fluida di sepanjang *streamline*, dimana semakin besar tekanan partikel fluida maka kecepatan yang dihasilkan akan semakin kecil. Hubungan antara tekanan dan kecepatan tersebut memenuhi hukum kekekalan energy, jika aliran dianggap tanpa gesekan penjumlahan komponen tekanan dan kecepatan pada setiap titik adalah sama sehingga persamaan Euler dapat disederhanakan sebagai persamaan di bawah ini dengan asumsi aliran *steady*, *body force* diabaikan, *viscous force* diabaikan dan aliran *incompressible*

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = -V \frac{\partial V}{\partial s} . \quad (2.2)$$

Pada kondisi *steady flow* dimana R adalah kelengkungan dari *streamline*, maka persamaan Euler normal dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = \frac{V^2}{R} . \quad (2.3)$$

Pada aliran *streamline* searah bidang horizontal efek ketinggian dapat diabaikan, sehingga persamaan dapat disederhanakan lagi menjadi

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} . \quad (2.4)$$

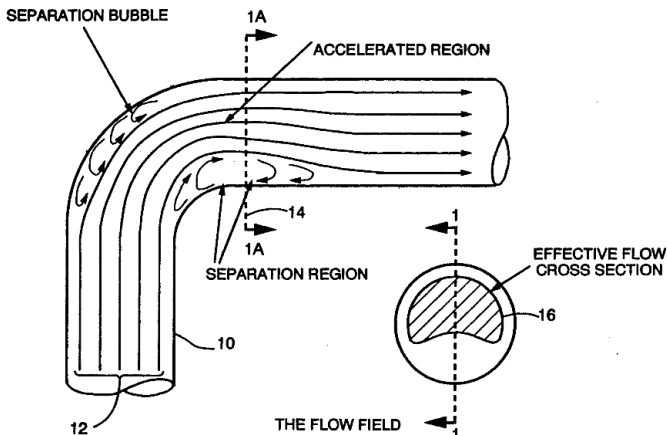
Persamaan 2.4 menjelaskan pengaruh dari perubahan radius kelengkungan tekanan fluida disepanjang aliran *streamline* normal (n). semakin besar radius kelengkungan maka tekanan yang terjadi juga semakin besar. Perbedaan tekanan ini digunakan untuk mengimbangi gaya sentrifugal oleh karena itu tekanan aliran



pada pipa lurus pada sisi normalnya konstan. Ketika *streamline*-nya lurus maka tidak ada perubahan tekanan pada normal *streamline*.

2.4 Proses Terjadinya Separasi pada *Elbow*

Separasi merupakan salah satu karakter aliran yang dapat menyebabkan terjadinya kerugian *pressure drop*. Kontak antara dinding *elbow* dengan aliran secara kontinu menyebabkan terjadinya gesekan yang dapat mengurangi momentum dari aliran. Pada gambar 2.5, ketika momentum aliran tidak mampu lagi melawan gesekan dan hambatan akan terjadinya tekanan balik (*adverse pressure gradient*) yang dapat merugikan, ditunjukkan dengan perubahan besarnya kecepatan dan terjadinya *vortex* di sekitar dinding *elbow*. Besarnya *vortex region* dapat merugikan karena menurunkan momentum aliran dimana luas penampang aliran utama akan semakin kecil yang menyebabkan aliran utama akan semakin kecil yang menyebabkan aliran mengalami percepatan dan menyebabkan terjadinya *pressure drop*.

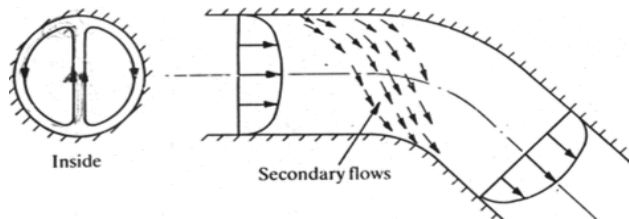


Gambar 2.5 Separation region pada circular elbow 90° (Cheng, 1994)



2.5 Proses Terjadinya Aliran Sekunder pada *Elbow*

Aliran sekunder didalam *elbow* merupakan fenomena aliran tiga dimensi karena terjadinya perbedaan distribusi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Perbedaan ini terjadi karena semakin kesisi luar maka tekanan statis aliran akan semakin besar sehingga pada sisi *outer wall* tekanan statisnya lebih besar dibanding sisi *inner wall*. Ketika aliran melewati dinding *elbow* aliran yang terjadi tidak sepenuhnya searah dengan *streamwise*, ini terjadi karena terdapat *boundary layer* pada sisi bawah dan samping pada *elbow*. Kecepatan aliran salah satunya bergerak searah dengan normal *streamwise* bergerak menuju *inner wall* karena tekanan statisnya lebih kecil. Pada aliran *elbow* terjadinya aliran sekunder tampak jelas terjadi pada bagian *cross section* seperti terlihat pada gambar 2.6.



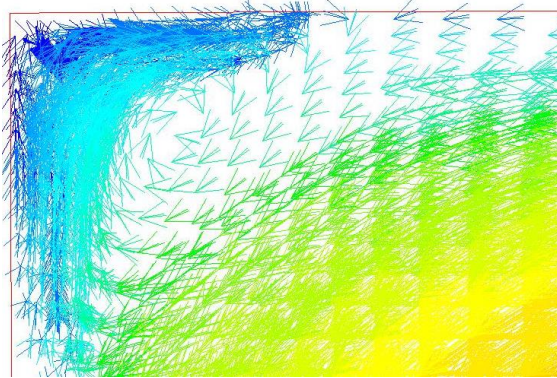
Gambar 2.6 *Secondary flow* (Miller, 1990)

Pada *rectangular elbow* mempunyai karakter khusus jika dibandingkan *circular elbow* dengan terjadinya aliran sekunder pada sisi *corner*. Ini terjadi karena pada *rectangular elbow* terjadi *boundary layer* pada sisi bawah dan samping sedangkan pada *sirkular elbow* tidak dijumpai. Interaksi *boundary layer* pada sisi bawah dan samping menyebabkan terjadinya aliran sekunder.

Penelitian tentang *secondary flow* juga pernah dilakukan oleh Hakim (2008) dengan menambah dua *guide vane* pada *rectangular elbow 90°* yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Pada dasarnya penambahan *guide vane* dapat memecah aliran sekunder pada sisi *inner* dan *outer* akan tetapi dengan bertambah *guide vane* cenderung akan memperbesar terjadinya aliran sekunder pada sisi



corner dan mengikis momentum karena akumulasi *adverse pressure gradient* dan gesekan pada dinding atas dan bawah sehingga partikel aliran pada *leading edge end wall guide vane* akan terseparasi sebelum menumbuk dinding *guide vane*.



Gambar 2.7 *Secondary flow* pada *rectangular elbow 90°* (Hakim, 2008)

2.6 Coefficient of Pressure (C_p)

Coefficient of pressure pada *elbow* didefinisikan sebagai selisih antara tekanan statis lokal dengan tekanan statis acuan (referensi) dibagi dengan tekanan dinamis yang diukur pada bagian sisi *inlet elbow*. Untuk menyatakan besarnya *pressure drop* secara tidak langsung dengan menggunakan C_p . Harga C_p sebagai selisih antara *inlet* dengan *outlet* dapat menjelaskan besarnya *pressure drop* disepanjang aliran. Semakin besar selisih C_p antara *inlet* dengan *outlet* maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar seperti yang dijelaskan pada persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{p_s - p_{ref}}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2}, \quad (2.5)$$

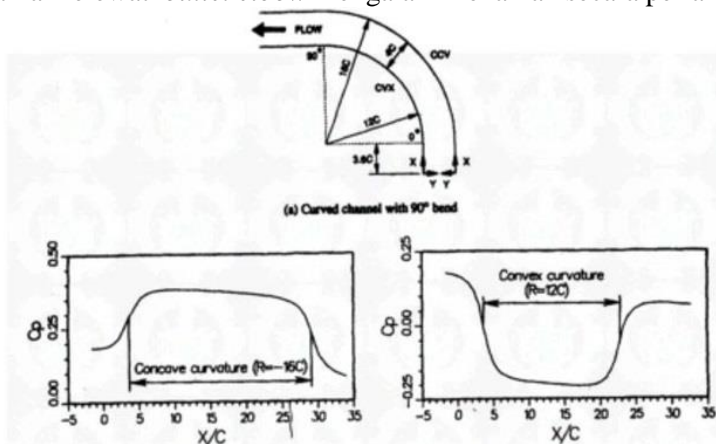


dimana:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_{ref}^2 &= \text{tekanan dinamis di } inlet \text{ elbow} \\ p_s &= \text{tekanan statis lokal pada dinding} \\ p_{ref} &= \text{tekanan statis acuan (referensi)} \\ \rho &= \text{massa jenis fluida pada kondisi kerja} \\ U_{ref} &= \text{kecepatan } freestream.\end{aligned}$$

2.7 Distribusi Tekanan di Sepanjang *Inner* dan *Outer Wall Elbow 90°*

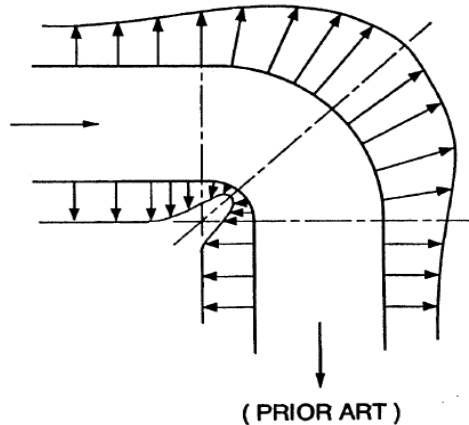
Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Kim dan Patel (1994) untuk mendapatkan distribusi tekanan disepanjang *inner* dan *outer wall elbow 90°*. Pada gambar 2.8 di sepanjang sisi *outer wall* didapatkan distribusi tekanan yang mula-mula terjadi peningkatan tekanan kemudian secara perlahan terjadi penurunan, ketika melewati *outlet* terjadi penurunan secara drastis menuju permukaan datar, sedangkan pada sisi *inner wall* yang mula-mula didapatkan distribusi tekanan yang mengalami penurunan tekanan, ketika melewati *outlet elbow* mengalami kenaikan secara perlahan.



Gambar 2.8 Distribusi tekanan pada *curved wall* (a) *concave wall* (b) *Convex wall* (Kim dan Patel, 1994)



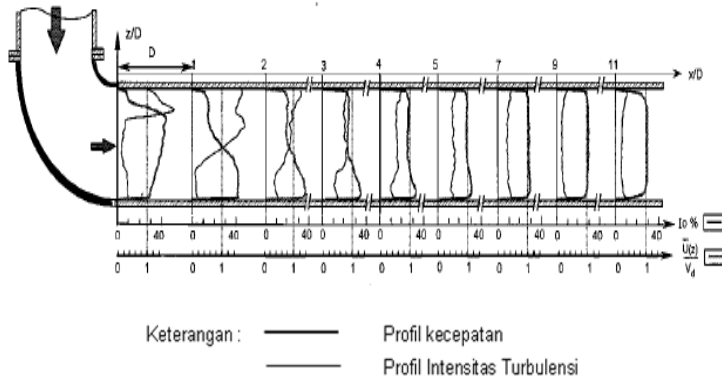
Cheng (1994) juga melakukan penelitian tentang distribusi tekanan di sepanjang sisi *inner wall* dan *outer wall elbow* 90° . Pada gambar 2.9 terlihat bahwa sisi *inner wall* serta *outer wall* terjadi kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*).



Gambar 2.9 Distribusi tekanan pada *curved pipe* (Cheng, 1994)

2.8 Karakteristik Aliran di Dalam *Elbow*

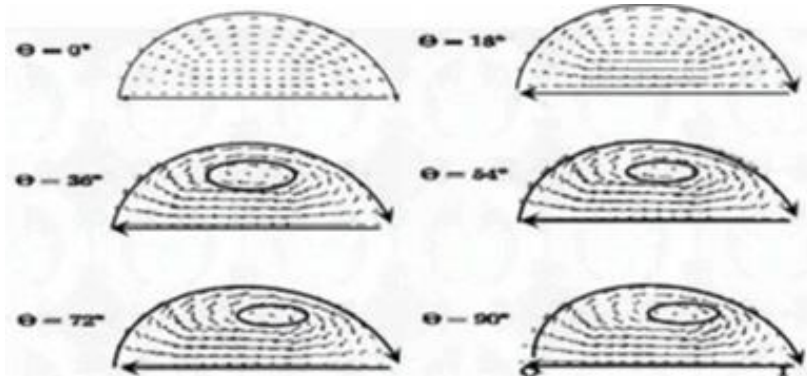
Penelitian selanjutnya dilakukan Danbon dan Sollicc (2000) mengenai profil kecepatan pada daerah downstream *circular elbow* 90° . Dari hasil penelitian terdapat perbedaan distribusi tekanan dan kecepatan, dimana *outer wall* memiliki nilai yang lebih besar dibanding *inner wall*. Ini menyebabkan partikel fluida yang bergerak dari *outer wall* ke *inner wall* dapat menghambat laju aliran fluida. Hal ini menyebabkan terjadinya aliran sekunder (*secondary flow*) yang dapat menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*). Profil kecepatan aliran setelah melewati *elbow* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Profil kecepatan dan intensitas turbulensi pada *downstream elbow* (Danbon dan Sollic, 2000)

Penelitian mengenai aliran sekunder (*secondary flow*) pernah dilakukan Marn dan Primoz (2006) dengan melakukan studi numerik menunjukkan bahwa terjadi perbedaan distribusi tekanan di *outer wall* dan *inner wall*. *Outer wall* memiliki distribusi tekanan yang lebih besar dibandingkan *inner wall*. Perbedaan distribusi tekanan inilah yang dapat menyebabkan terjadinya aliran sekunder (*secondary flow*) pada masing-masing *cross section elbow*, mulai dari *inlet elbow* pada posisi 0° sampai *outlet elbow* pada posisi 90° yang ditunjukkan pada gambar 2.11.

Untuk mengurangi terjadinya aliran sekunder (*secondary flow*) dilakukan pemasangan *guide vane* pada pipa circular *elbow* 90° untuk fluida *non newtonian*. Penelitian dilakukan pada masing-masing *cross section*, dimana *secondary flow* merupakan gerakan sepasang *vortex* dari *outer wall* menuju *inner wall*. Dari hasil penelitian yang ditunjukkan gambar 2.11 *vortex* mulai muncul pada posisi 36° dan mulai terdeformasi pada posisi 90° .



Gambar 2.11 Secondary flow pada masing-masing cross section elbow 90° (Marn dan Primož, 2006)

Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian secara eksperimen pada sebuah elbow. Elbow yang digunakan berbentuk *rounded* dan *rectangular* dengan 4 variasi pemasangan guide vane yaitu tanpa guide vane, satu guide vane, dua guide vane, dan tiga guide vane. Re aliran yang melalui elbow divariasikan menjadi 2.1×10^4 , 8.4×10^4 dan 12×10^4 . Hasil yang didapat dari eksperimen adalah, pada Re terkecil sebesar 2.1×10^4 , penambahan guide vane mengurangi pressure drop. Hal tersebut berbanding terbalik dengan variasi Re aliran 8.4×10^4 dan 12×10^4 dimana terjadi peningkatan pressure drop pada setiap penambahan guide vane. Fakta tersebut terlihat pada gambar 2.12. Selain itu, penambahan guide vane pada setiap variasi Re juga berhasil mengurangi turbulensi aliran. Kesimpulan tersebut diambil dengan memperhatikan fenomena pada data C_p sepanjang inner dan outer elbow serta profil kecepatan pada bagian downstream elbow.

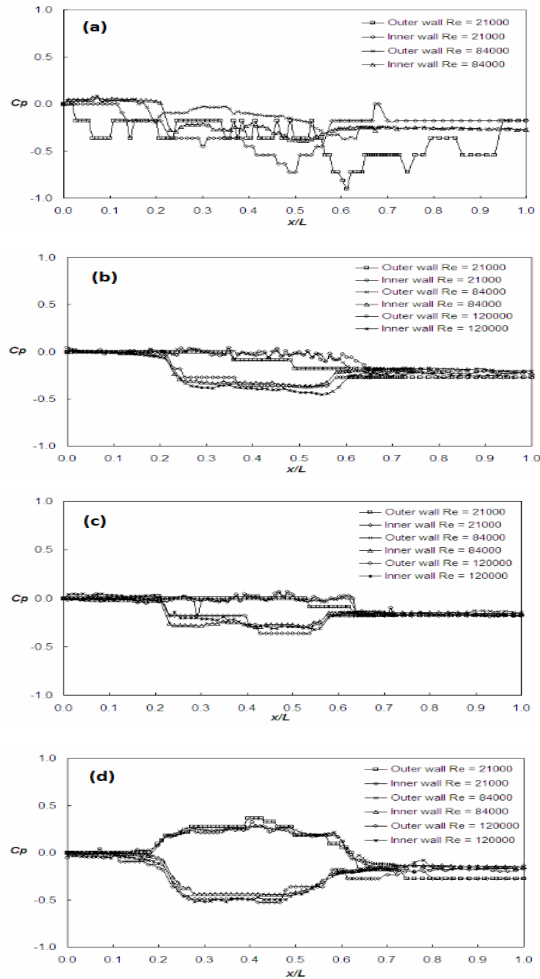
Penambahan satu, dua, atau tiga *guide vane* mengurangi secara signifikan perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer*. Fenomena ini menunjukkan bahwa aliran fluida yang menyilang dari *outer* ke *inner* harus ditekan. Oleh karena itu, diperkirakan penurunan tekanan akibat aliran sekunder pada *elbow* dapat dikurangi. Meskipun penambahan *guide vane* dapat menekan



pembentukan aliran sekunder tetapi efek dari penyumbatan pada *main stream* mengakibatkan peningkatan gaya gesekan pada dinding. Peningkatan gaya gesek pada dinding ini disebabkan oleh penambahan kontak area dari *guide vane* tersebut, dan efek ini lebih terlihat pada bilangan *Reynolds* yang lebih tinggi. Pengaruh penambahan *guide vane* terhadap pressure drop dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Pengaruh Penambahan Guide Vane Terhadap Pressure Drop
(Sutardi dkk, 2010)

Re_{Dh}	Number of Guide Vanes	Δp (N/m ²)	Δp (%)
21000	0	4.01	-
	1	2.67	-33.42%
	2	2.73	-31.92%
	3	2.71	-32.42%
84000	0	36.07	-
	1	37.40	3.69%
	2	51.12	41.72%
	3	74.59	106.79%
120000	0	79.11	-
	1	88.66	12.07%
	2	118.22	49.44%
	3	-	-



Gambar 2.12 Profil Tekanan aliran pada setiap variasi Re (a) 3 Guide Vane, (b) 2 Guide Vane, (c) 1 Guide Vane, (d) Tanpa Guide Vane (Sutardi dkk, 2010)



2.9 Intensitas Turbulensi

Turbulensi merupakan fluktuasi *irregular* pada gerak atau aliran fluida di dalam medan aliran. Fluktuasi tersebut biasanya terjadi dalam tiga komponen kecepatan dan tidak sulit diprediksi secara *detail*. Turbulensi muncul dalam waktu sesaat di dalam ruang dan terjadi pencampuran- pencampuran properties fluida sebagai akibat dari gradien tekanan. Gradien tekanan ini terjadi didalam ruang dan dipengaruhi faktor lingkungan. Lingkungan aliran biasanya merupakan batas aliran seperti permukaan datar, sudut tajam atau benda menghalangi aliran dimana permukaan tersebut menghasilkan gradient tekanan sebagai akibat viskositas fluida.

Intensitas turbulensi merupakan derajat keturbulensian alirandi dalam suatu alat uji. Dalam suatu penelitian tidak diinginkan intensitas turbulensi yang besar karena dapat mempengaruhi hasil penelitian. Hal ini mengakibatkan perlu adanya upaya untuk mengurangi intensitas turbulensi agar didapatkan data hasil penelitian yang akurat. Salah satu upaya untuk mengurangi intensitas turbulensi ialah dengan menempatkan *screen* pada sisi inlet inlet setelah melewati *honeycomb* pada *wind tunnel*.

Pada suatu *closed circuit wind tunnel*, intensitas turbulensi sangat *vital* dan perlu diperhatikan. Hal ini dikarenakan pada rangkaian instalasinya terdapat beberapa bagian dengan luas penampang yang berbeda. Persamaan untuk mengukur intensitas turbulensi ialah:

$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\% , \quad (2.6)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\Sigma(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} , \quad (2.7)$$

dimana:

IT : Intensitas turbulensi

U_n : Kecepatan pada waktu tertentu (m/s)

\bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)

u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s).



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



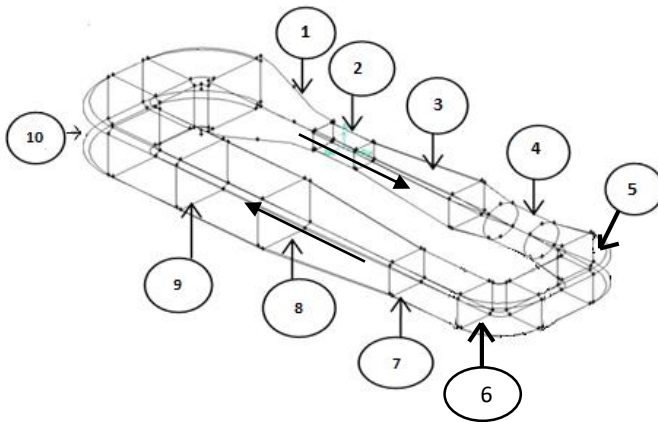
BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa dimensi, instalasi penelitian dan *test section* penelitian, peralatan yang digunakan beserta spesifikasinya, langkah kerja, dan data-data yang diperoleh dari pengukuran yang nantinya akan dihitung untuk dianalisa lebih lanjut.

3.1 Instalasi Penelitian

Instansi penelitian berupa benda uji (*test section*) dan peralatan pendukung seperti *nozzle*, *elbow*, *difuser*, *fan* dan *connector*. Instalasi penelitian memiliki spesifikasi umum dengan dimensi total panjang 6490 mm, lebar 2250 mm dan tinggi 770 mm. Skema instalasi *wind tunnel* secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema instalasi *windtunnel*



Keterangan gambar:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. <i>Nozel, honey comb</i> , dan <i>screen</i> | 6. <i>Elbow</i> kecil 2 |
| 2. <i>Test section</i> 1 | 7. <i>Connector</i> |
| 3. <i>Diffuser</i> 1 | 8. <i>Diffuser</i> 2 |
| 4. <i>Fan</i> | 9. <i>Test section</i> 2 |
| 5. <i>Elbow</i> kecil | 10. <i>Elbow</i> besar |

Instalasi penelitian terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu:

1) *Fan Axial*

Fan Axial digunakan sebagai pembangkit aliran udara di dalam instalasi. Spesifikasi fan axial yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Merk : SAD-500/10/4/2
- Tipe : Direct Axial Fan
- Kapasitas : 15000 m³/hr
- Daya : 4 kW
- Putaran : 2800 rpm

2) *Honey Comb, Screen dan Nozzle*

Nozzle berfungsi untuk menambah kecepatan aliran sebelum memasuki *test suction*. Didalam *nozzle* terdapat *screen* dan *honeycomb* yang berfungsi untuk menjadikan aliran mendekati uniform dan mengurangi turbulensi aliran ketika memasuki instalasi *test suction*.

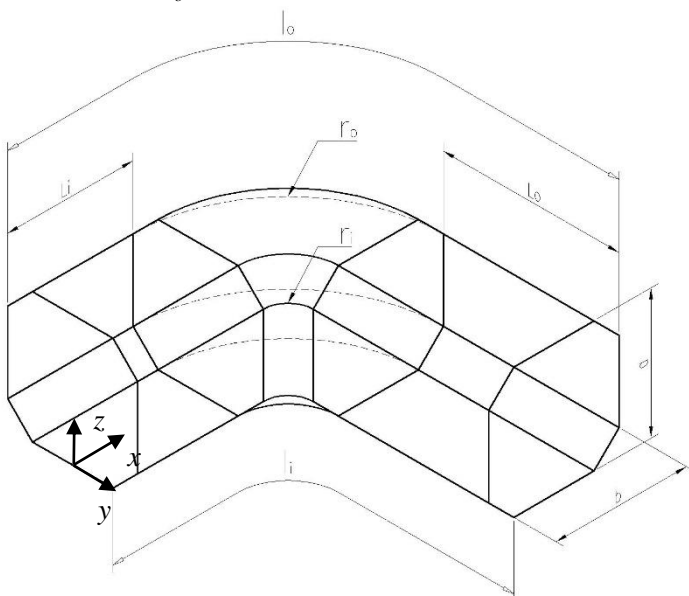
3) *Model Uji*

Pada penelitian ini digunakan model uji, yaitu *octagonal elbow* kecil 1 dan *octagonal elbow* kecil 2 (No.5 dan No. 6 pada skema instalasi gambar 3.1). Untuk pengambilan data, *outlet* dari *elbow* no. 5 merupakan *inlet* dari *elbow* no. 6

1. *Octagonal elbow* kecil 1. Model uji ditunjukkan pada gambar 3.2 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - *Elbow* : *Octagonal elbow* 90°
 - Bahan : Akrilik dan triplek
 - Tebal : 6 mm
 - U_{ref} : 6 m/s dan 13 m/s
 - L_i (panjang inlet *elbow*) : 500 mm
 - L_o (panjang outlet *elbow*): 700 mm



- r_i (inner radius) : 100 mm
- r_o (outer radius) : 620 mm
- a (tinggi) : 519 mm
- b (lebar) : 519 mm
- D_h (diameter hidrolik) : 542 mm
- l_i : 1357 mm
- l_o : 2174 mm

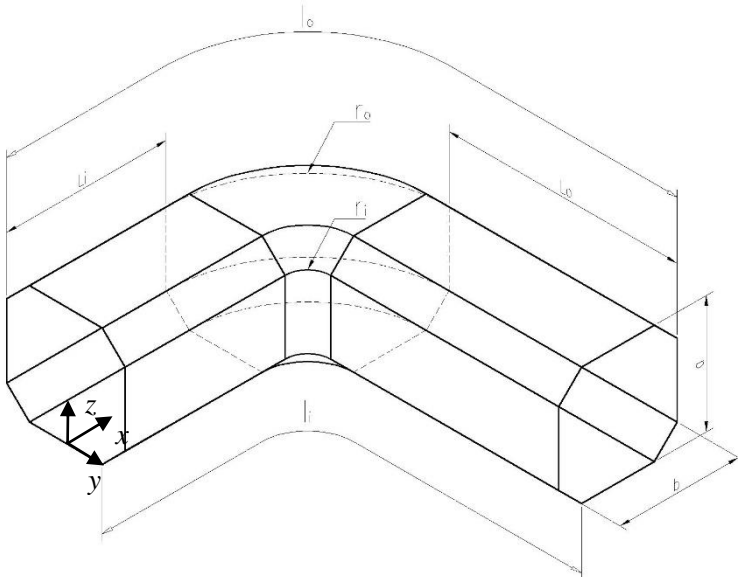


Gambar 3.2 Skema penelitian *octagonal elbow* kecil 1

2. *Octagonal elbow* kecil 2. Model uji ditunjukkan pada gambar 3.3 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - *Elbow* : *Octagonal elbow* 90°
 - *Bahan* : Akrilik dan triplek
 - *Tebal* : 6 mm
 - U_{ref} : 6 m/s dan 13 m/s
 - l_i (panjang inlet *elbow*) : 700 mm
 - l_o (panjang outlet *elbow*) : 1000 mm



- r_i (inner radius) : 100 mm
- r_o (outer radius) : 620 mm
- a (tinggi) : 519 mm
- b (lebar) : 519 mm
- D_h (diameter hidrolis) : 542 mm
- l_i : 1857 mm
- l_o : 2672 mm



Gambar 3.3 Skema penelitian *octagonal elbow* kecil 2



3.2 Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- *Stagnation pressure tube (Pitot tube)*

Pitot tube digunakan untuk mengukur tekanan stagnasi dengan diameter luar sebesar 0,7 mm berfungsi untuk mengukur tekanan stagnasi aliran pada setiap titik yang telah ditentukan didalam model uji. Pergeseran titik pengukuran secara horizontal dan vertikal pada setiap *cross section* yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu.

- *Wall pressure tap*

Wall pressure tap digunakan untuk mengukur tekanan statis, pemasangannya di sepanjang dinding lokasi pengukuran. *Pressure tap* berbentuk lubang-lubang kecil berdiameter 5 mm. Selain itu, *pressure tap*, juga dipasang pada sisi dinding atas *elbow*.

Jumlah *wall pressure tap* disesuaikan dengan kondisi tekanan pada setiap *section*. Posisi pengukuran *pressure tap* dapat dilihat pada tabel 3.1.

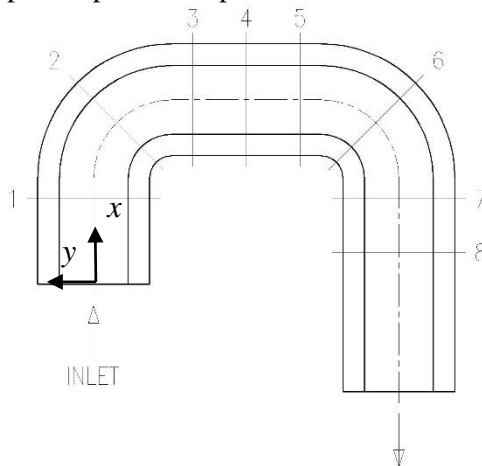
Tabel 3.1 Posisi Pengukuran *Pressure Tap* Pada *Octagonal Elbow 90°*

Section	Jarak antar Pressure Tap (mm)		
	Inlet (upstream)	Elbow 90°	Outlet (downstream)
Inner Wall	150	50	150
Outer Wall	150	100	150

Untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka *test section (elbow)* dibagi menjadi 8 *section* yang akan dijadikan posisi peletakan *pitot tube* secara horizontal dan vertikal. Pada tabel 3.2



dan gambar 3.4 ditunjukkan beberapa lokasi yang akan diteliti untuk mendapatkan profil kecepatan.



Gambar 3.4 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan *small elbow*

Terdapat 8 *test section* pada *small elbow* dimana letak *test section* dapat dilihat pada table 3.2. Simbol s merupakan jarak antara *inlet elbow* dan *section*.

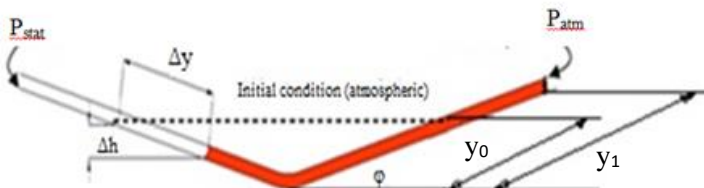
Tabel 3.2 Lokasi Perhitungan Untuk Profil Kecepatan *Small Elbow*

Section	s_i (mm)	s_o (mm)	s_i/l_i	s_o/l_o
1	400	400	0.16	0.09
2	579	987	0.23	0.23
3	757	1574	0.30	0.37
4	1007	1824	0.40	0.43
5	1257	2074	0.50	0.50
6	1436	2661	0.57	0.64
7	1614	3248	0.64	0.78
8	1864	3498	0.74	0.84



- *Inclined manometer (Manometer V) dan Mistar*

Manometer digunakan sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* yang digunakan mempunyai kemiringan sebesar 10° yang bertujuan untuk mempermudah pembacaan Δh . *Manometer* digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Inclined manometer*

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Red Oil* (SG = 0,82)
- Kemiringan : 10°

- *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengukur temperatur udara di dalam ruangan.

- *Transducer* tekanan dan data akuisisi

Pressure transducer ini merupakan alat ukur digital, dimana alat ini mengukur arus untuk mengetahui tekanan. *Wall pressure tap* dan *Pitot tube* dihubungkan ke alat ini dan hasilnya berupa arus atau tegangan yang dibaca melalui data akuisisi. Oleh karena itu diperlukan validasi agar dapat diketahui tekanan. Berikut spesifikasinya:

Model	: PX653-0.505V
Range	: $\pm 1''$ WC / $\pm 124,541$ Pa



Akurasi	: 0.25 % FS (Fullscale)
Output	: 1-5 VDC
Supply	: 13 – 36 Vdc
Ser.no.	: X13290059

3.3 Analisa Dimensi Parameter-parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Berdasar gambar 3.2 dan gambar 3.3, parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran di dalam *elbow 90°* adalah sebagai berikut :

- Δp : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m^2)
- ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)
- μ : viskositas absolut fluida (kg/(m.s))
- U_{ref} : kecepatan *freestream* di *inlet elbow 90°* (m/s)
- u : kecepatan local (m/s)
- a : tinggi *cross section elbow 90°* (m)
- b : lebar *cross section elbow 90°* (m)
- r : posisi pada arah normal terhadap *streamline elbow 90°* (m)
- r_i : *inner radius* (m)
- r_o : *outer radius* (m)
- s_i : posisi searah *streamline* pada dinding dalam *elbow 90°* (m)
- s_o : posisi searah *streamline* pada dinding luar *elbow 90°* (m)
- l_i : panjang total *inner* searah *streamline elbow 90°* (m)
- l_o : panjang total *outer* searah *streamline elbow 90°* (m)
- D_h : diameter hidrolis saluran (m)
- L_i : panjang *inlet elbow 90°* (m)
- L_o : panjang *outlet elbow 90°* (m)

Dengan menganggap Δp dan u sebagai *dependent variable* maka dapat dituliskan persamaan 3.1 sebagai berikut:



$$\Delta p = f_1(\rho, \mu, b, a, r, r_i, r_o, s_i, s_o, l_i, l_o, L_i, L_o, U_{ref}, D_h) \quad (3.1)$$

$$u = f_2(\rho, \mu, b, a, r, r_i, r_o, s_i, s_o, l_i, l_o, L_i, L_o, U_{ref}, D_h)$$

Dari persamaan 3.1 didapatkan parameter berdimensi ($n = 16$) sebagai berikut :

$$\Delta p, \rho, \mu, U_{ref}, [b, a, r, r_i, r_o, s_i, s_o, l_i, l_o, L_i, L_o, D_h] \quad (3.2)$$

$$u, \rho, \mu, U_{ref}, [b, a, r, r_i, r_o, s_i, s_o, l_i, l_o, L_i, L_o, D_h] \quad (3.3)$$

Dipilih repeating parameter ($m = r = 3$) yang diperoleh dari parameter berdimensi ρ, U_{ref} dan D_h . Dengan menggunakan teori *Buckingham Pi* maka diperoleh 13 grup tak berdimensi ($n-m = 16-3 = 13$) pada masing-masing *dependent variable* Δp dan u sebagai berikut:

- *Dependent variable* Δp

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{\Delta p}{\rho \cdot U_{ref}^2}; \Pi_2 = \frac{\mu}{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}; \Pi_3 = \frac{a}{D_h}; \Pi_4 = \frac{b}{D_h}; \Pi_5 = \frac{r}{D_h}; \Pi_6 \\ &= \frac{r_i}{D_h}; \Pi_7 = \frac{r_o}{D_h}; \Pi_8 = \frac{s_o}{D_h}; \Pi_9 = \frac{s_i}{D_h}; \Pi_{10} = \frac{l_i}{D_h}; \Pi_{11} = \frac{l_o}{D_h}; \Pi_{12} \\ &= \frac{L_i}{D_h}; \Pi_{13} = \frac{L_o}{D_h} \end{aligned} \quad (3.4)$$

- *Dependent variable* u

$$\begin{aligned} \Pi_{14} &= \frac{u}{U_{ref}}; \Pi_{15} = \frac{\mu}{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}; \Pi_{16} = \frac{a}{D_h}; \Pi_{17} = \frac{b}{D_h}; \Pi_{18} = \frac{r}{D_h}; \\ \Pi_{19} &= \frac{r_i}{D_h}; \\ \Pi_{20} &= \frac{r_o}{D_h}; \Pi_{21} = \frac{s_o}{D_h}; \Pi_{22} = \frac{s_i}{D_h}; \Pi_{23} = \frac{l_i}{D_h}; \Pi_{24} = \frac{l_o}{D_h}; \Pi_{25} = \frac{L_i}{D_h} \\ ; \Pi_{26} &= \frac{L_o}{D_h} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Sehingga dihasilkan pula fungsi persamaan tak berdimensi yaitu koefisien tekanan (C_p) dan kecepatan tak berdimensi $\frac{u}{U_{ref}}$ seperti pada persamaan 3.7 dan 3.9 sebagai berikut:

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2} = f_1(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}, \Pi_{12}, \Pi_{13}) \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2} = \\ f_1 &\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{r}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{s_o}{D_h}, \frac{s_i}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h} \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$



$$\frac{u}{u_{ref}} = f_2 (\Pi_{15}, \Pi_{16}, \Pi_{17}, \Pi_{18}, \Pi_{19}, \Pi_{20}, \Pi_{21}, \Pi_{22}, \Pi_{23}, \Pi_{24}, \Pi_{25}, \Pi_{26}) \quad (3.8)$$

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_2 \left(\frac{\mu}{\rho u_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{r}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{s_o}{D_h}, \frac{s_i}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h} \right) \quad (3.9)$$

Dari kelompok-kelompok tak berdimensi di atas, parameter-parameter yang dianggap konstan (tidak divariasikan) adalah:

$$\left(\frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{L_i}{D_h} \right) \quad (3.10)$$

Parameter yang dianggap konstan karena harganya sudah ditentukan sejak awal dapat dikeluarkan dari fungsi persamaan tak berdimensi. Pada penelitian ini digunakan bilangan *Reynolds* yang didasarkan pada u_{ref} dan D_h sehingga didapat $Re_{Dh} = \frac{\mu}{\rho u_{ref} D_h}$. Pada analisa dimensi didapatkan parameter $\frac{r}{b}$ dan $\frac{r}{a}$ yang dinyatakan dalam perhitungan sebagai berikut:

- *Dependent variable Δp*

$$\Pi_{14} = \frac{\Pi_6}{\Pi_5} = \frac{\frac{r}{D_h}}{\frac{b}{D_h}} = \frac{r}{b} \quad (3.11)$$

$$\Pi_{15} = \frac{\Pi_6}{\Pi_5} = \frac{\frac{r}{D_h}}{\frac{a}{D_h}} = \frac{r}{a} \quad (3.12)$$

- *Dependent variable u*

$$\Pi_{27} = \frac{\Pi_{20}}{\Pi_{19}} = \frac{\frac{r}{D_h}}{\frac{b}{D_h}} = \frac{r}{b} \quad (3.13)$$

$$\Pi_{28} = \frac{\Pi_{20}}{\Pi_{19}} = \frac{\frac{r}{D_h}}{\frac{a}{D_h}} = \frac{r}{a} \quad (3.14)$$



Dari beberapa pertimbangan di atas maka persamaan 3.7 dan 3.9 dapat ditulis sesuai dengan persamaan 3.15 dan 3.16 sebagai berikut:

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2} = f_3 \left(\frac{s_i}{D_h}, \frac{s_o}{D_h}, \frac{r}{b}, \frac{r}{a}, Re_{Dh} \right) \quad (3.15)$$

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_4 \left(\frac{s_i}{D_h}, \frac{s_o}{D_h}, \frac{r}{b}, \frac{r}{a}, Re_{Dh} \right) \quad (3.16)$$

3.4 Langkah-langkah Eksperimen

Beberapa tahap yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut:

3.4.1 Prosedur Validasi Data

Ada beberapa langkah validasi yang perlu dilakukan sebelum pengambilan data, yaitu:

- Validasi tekanan dinamis

Berikut langkah kerja validasi data tekanan dinamis:

1. *Pitot static* dipasangkan pada manometer dan *transducer*
2. Fan diatur dari kecepatan 0-40 Hz dengan interval 5 Hz
3. Data diambil dari manometer dan *pressure transducer* untuk tekanan dinamik
4. Data manometer didapat Δh (mm) dan dari *transducer* didapatkan *voltage* (Volt)
5. Data tersebut dibuat grafik Δh vs arus sehingga diketahui hubungan fungsional Δh (mm) sebagai fungsi dari *voltage* (Volt).

- Validasi tekanan statis di dinding

Berikut langkah kerja validasi data tekanan statis pada dinding:

1. *Wall pressure tap* dipasang sepanjang dinding *elbow*
2. *Wall pressure tap* disambungkan pada manometer dan *transducer*
3. Fan diatur dari kecepatan 0-40 Hz dengan interval 5 Hz



4. Data diambil dari manometer dan *pressure transducer* untuk tekanan statis
5. Dari manometer didapatkan Δh (mm) dan dari *transduser* didapatkan *voltage* (Volt)
6. Data tersebut dibuat grafik Δh vs arus sehingga dapat diketahui hubungan fungsional Δh (mm) sebagai fungsi dari *voltage* (Volt).

3.4.2 Pengambilan Data Kuantitatif

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Sebelum melakukan pengambilan data maka perlu dilakukan pengukuran suhu ruangan terlebih dahulu. Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda dan akan dijelaskan sebagai berikut:

1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis

Prosedur pengukuran tekanan dinamis adalah sebagai berikut:

- a) Persiapan *test section*.
- b) Pemasangan *Pitot tube* pada posisi yang telah ditentukan pada tabel 3.2 dan 3.3.
- c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler.
- d) Posisi *pitot tube* diatur pada titik awal pengukuran pada jarak $s_o/l_o = 0,09$ dan pada jarak $r/b \approx 1$ artinya ujung *pitot tube* sebisa mungkin di dekatkan pada dinding *outer inlet*.
- e) *Blower* dimatikan
- f) Pengaturan bukaan *blower* sesuai kebutuhan.
- g) Arus dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi dicatat.
- h) *Pitot tube* digeser searah horizontal ke sisi dinding *inner ducting*.
- i) Mengulangi langkah e sampai f pada titik tekanan stagnasi yang telah ditentukan pada tabel 3.2 dan 3.3.
- j) Posisi *pitot tube* diatur pada titik awal pengukuran pada jarak $s_o/l_o = 0,09$ dan pada jarak $r/a \approx 1$ artinya ujung *pitot*



tube sebisa mungkin di dekatkan pada dinding *lower inlet*.

- k) *Pitot tube* digeser searah vertikal ke sisi dinding *upper ducting*.
- l) Mengulangi langkah e sampai f titik tekanan stagnasi yang telah ditentukan pada tabel 3.2 dan 3.3.
- 2) Prosedur pengukuran tekanan statis
Prosedur pengukuran tekanan statis adalah sebagai berikut:
 - a) Persiapan *test section*.
 - b) Penghubungan *pressure tap* yang sudah terpasang di dinding ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.
 - c) Pengaturan bukaan *blower* sesuai kecepatan *free stream* yang di-set.
 - d) Data arus dari *pressure transducer* dicatat.
 - e) Selang kapiler *pressure transducer* dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* selanjutnya.
 - f) Langkah c sampai f diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir di ujung *outlet elbow*.

3.4.3 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Beberapa data awal yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

- Diameter hidrolis *elbow* (D_h) : 542 mm
- Panjang *upstream* sampai *downstream small Elbow*

<i>inner wall</i>	(l_i)	: 2514 mm
<i>outer wall</i>	(l_o)	: 4148 mm
- Sudut *inclined manometer* (φ) : 10°
- *Specific Gravity red oil* (SG_{redoil}) : 0,82
- Percepatan Gravitasi (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$
- Temperatur ruangan dianggap konstan (T) : 28°C
- Massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{ud}) : $1,182 \text{ kg/m}^3$



- Viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ν) : $1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Massa jenis air pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{H2O}) : $996,4 \text{ kg/m}^3$

1) Perhitungan untuk bukaan *blower*

Pada eksperimen ini digunakan bilangan Reynolds yang didapat melalui persamaan 3.17 didapatkan kecepatan awal 6 m/s dan 13 m/s,

$$Re_{DH} = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu}, \quad (3.17)$$

dimana:

- ρ_{ud} : massa jenis udara
- ν : viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- μ : viskositas absolut udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet elbow* ($x_i/D_h = 0$ atau $x_o/D_h = 0$)
- D_h : diameter hidraulik *elbow*

Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 6 m/s dan 13 m/s dilakukan pengaturan bukaan *blower* pada posisi *centerline* (x dan $y = 0$) secara manual melalui pengukuran nilai Δh menggunakan persamaan 3.18 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{redoil} \cdot g \cdot \Delta h \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 &= SG_{red\ oil} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta h \\ \Delta h &= \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref}^2}{2 \cdot SG_{red\ oil} \cdot \rho_{H2O} \cdot g} \\ \Delta h &= 2 \cdot \Delta y \cdot \sin \varphi \\ \Delta y &= \frac{\Delta h}{2 \cdot \sin \varphi} \\ \Delta y &= y_1 - y_0 \quad (\text{lihat gambar 3.5}) \end{aligned} \quad (3.19)$$

Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah *axial fan*, untuk mendapatkan kecepatan referensi (U_{ref}) sebesar 6 m/s dan 13 m/s dilakukan pengaturan bukaan *blower* dengan menggunakan



wall pressure tap dan *stagnation pressure tube*. Kedua alat ukur tersebut kemudian dihubungkan pada *inclined manometer* secara bersamaan untuk mendapatkan tekanan dinamis. Bukaan tersebut dijadikan acuan dalam pengambilan data distribusi koefisien tekanan (C_p) dan profil kecepatan aliran.

2) Perhitungan Pressure Coefficient (C_p)

Perhitungan *wall pressure coefficient* (C_p) untuk *elbow* 90° pada sepanjang sisi *inner* dan *outer wall* dari *test section* yaitu pada bagian *midspan* yang berjarak 50 mm dari dinding atas *elbow*.

Wall pressure coefficient (C_p) dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{s,i} - P_{ref}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot U_{ref}^2} \quad (3.20)$$

dimana:

- $P_{s,i}$: tekanan statis pada *inner wall* di $x/D_h = i$
- P_{ref} : tekanan statis referensi pada $x/D_h = 0$
(*centerline* $x \& y = 0$) (lihat gambar 3.2)
- ρ_{ud} : massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- U_{ref} : kecepatan referensi pada $x/D_h = 0$
- *inlet section elbow* ($x_i/D_h = x_o/D_h = 0$)

a) Perhitungan $P_{s,i}$

$$\begin{aligned} \Delta h &= \Delta y \cdot \sin \varphi \\ P_{s,i} &= \rho_{redoil} \cdot g \cdot \Delta h \\ &= SG_{redoil} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin \varphi \end{aligned}$$

b) Perhitungan P_{ref}

$$\begin{aligned} \Delta h &= \Delta y \cdot \sin \varphi \\ P_{ref} &= \rho_{redoil} \cdot g \cdot \Delta h \end{aligned}$$

c) Perhitungan C_p

$$C_p = \frac{P_{s,i} - P_{ref}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot U_{ref}^2}$$

3) Perhitungan kecepatan lokal

Perhitungan profil kecepatan dari *inner wall* pada *elbow* dapat ditulis sesuai persamaan 3.21 sebagai berikut:



$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_o - p_s)}{\rho_{ud}}} \quad (3.21)$$

dimana

- p_o : tekanan stagnasi
- p_s : tekanan statis
- ρ_{ud} : massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- $p_o - p_s$: tekanan dinamis

4) Perhitungan *Pressure Drop* (Δp)

Pressure drop adalah selisih tekanan *inlet* dan *outlet* pada *test section*. Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan p_{inlet} dan p_{outlet} sama dengan perhitungan $p_{s,i}$.

Dua parameter berupa tekanan statis dan stagnasi digunakan untuk menghitung *pressure coefficient* (C_p) dan *velocity profile*, kemudian dari parameter – parameter tersebut akan diplot grafik – grafik sebagai berikut:

1. Grafik *pressure coefficient* (C_p) fungsi sumbu x/D_h pada *inner wall* untuk masing-masing *Reynolds number*, $C_p = f(x_i/D_h, Re_{Dh})$.
2. Grafik *pressure coefficient* (C_p) fungsi sumbu x/D_h pada *outer wall* untuk masing-masing *Reynolds number*, $C_p = f(x_o/D_h, Re_{Dh})$.
3. Grafik *pressure coefficient* (C_p) fungsi sumbu r/b pada kelengkungan *elbow* untuk masing-masing *Reynolds number*, $C_p = f(r/b, Re_{Dh})$.
4. Grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) untuk *horizontal plane* pada masing-masing *Reynolds number*, $u/U_{ref} = f(x_i/D_h, r/b, Re_{Dh})$.
5. Grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) untuk *vertical plane* pada masing-masing *Reynolds number*, $u/U_{ref} = f(x_i/D_h, r/a, Re_{Dh})$.



Berikut tabel perbandingan dengan penelitian sebelumnya:

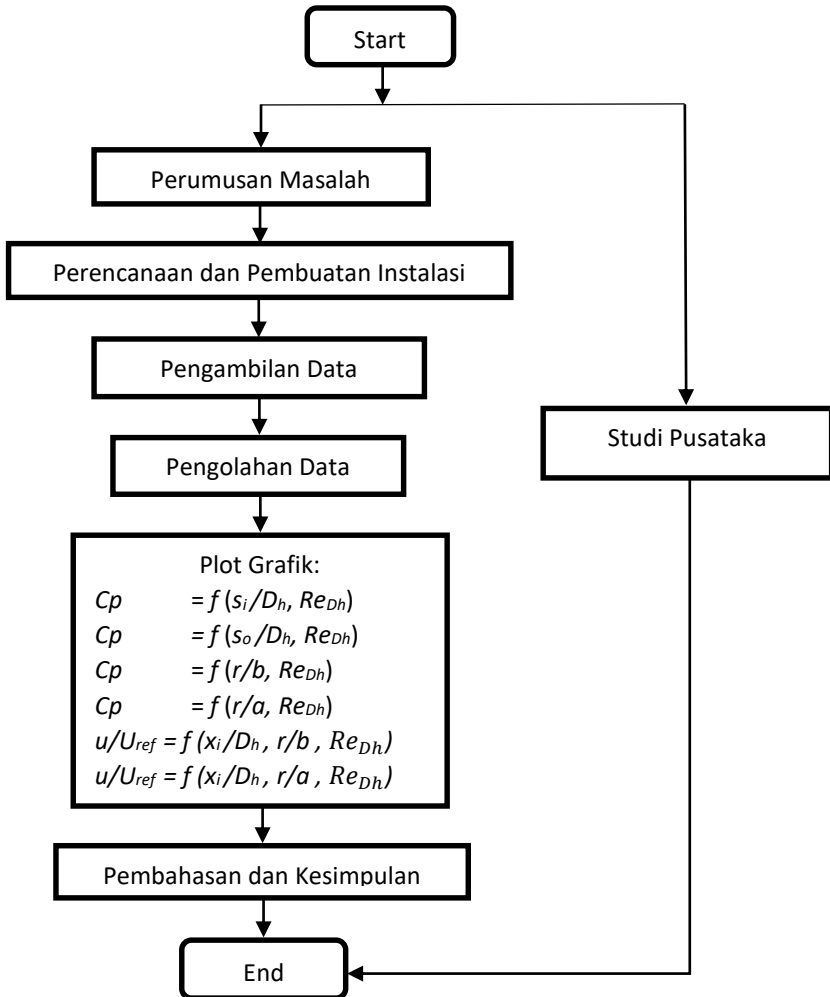
Tabel 3.3 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Metode	Perbedaan
Sutardi dkk (2010)	Karakteristik aliran dalam elbow 90° dengan 1 <i>guide vane</i> , 2 <i>guide vane</i> , 3 <i>guide vane</i> , dan tanpa <i>guide vane</i> $\frac{a}{D_h} > \frac{b}{D_h}$	Hanya tanpa <i>guide vane</i>
Abel (2016)	-Karakteristik aliran dalam elbow 90° dengan 2 <i>guide vane</i> dan tanpa <i>guide vane</i> $\frac{a}{D_h} = \frac{b}{D_h}$ -Mengasumsikan kedua <i>elbow</i> pada <i>windtunnel</i> sama -Profil kecepatan searah bidang horizontal	- <i>Elbow</i> kiri dan <i>elbow</i> kanan tidak sama -Profil kecepatan searah bidang horizontal dan vertikal



3.5 Flowchart Penelitian

Secara singkat prosedur penelitian eksperimen pada *octagonal elbow* dapat dijelaskan dengan menggunakan *flowchart penelitian* yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Flowchart penelitian



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan data, grafik, dan pembahasan dari hasil eksperimen yang dilakukan. Hasil yang dibahas meliputi *pressure coefficient* (C_p), profil kecepatan pada suatu penampang, dan intensitas turbulensi. Kemudian data *Elbow 1* dan *Elbow 2* dibandingkan.

Pembahasan hasil eksperimen pada *octagonal elbow 90°* baik *elbow 1* dan *elbow 2* dilakukan pada bilangan *Reynolds* 2.08×10^5 dan 4.5×10^5 . Hasil analisa pada *octagonal elbow 90°* difokuskan pada distribusi *pressure coefficient* (C_p), profil kecepatan pada suatu penampang pada 8 *section*.

4.1 Distribusi *Pressure Coefficient* (C_p)

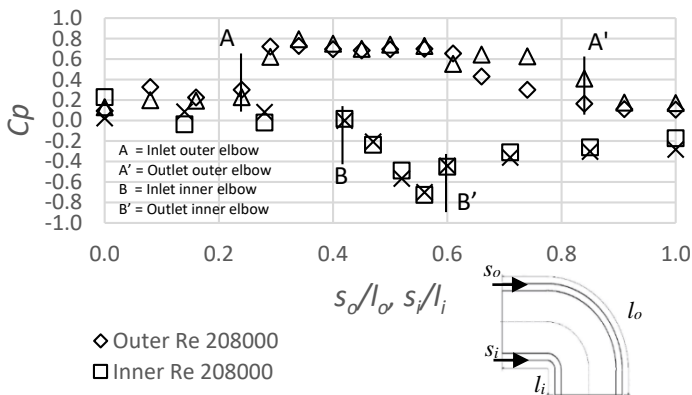
Dalam pembahasan ini, grafik distribusi yang ditampilkan meliputi dua *elbow* yaitu *elbow* setelah rumah *fan* dan *elbow* setelah *straight duct*. Karakteristik aliran dijelaskan dengan mengacu kepada distribusi *pressure coefficient* (C_p) sebagai representasi dari distribusi tekanan.

Pada gambar 4.1 dijelaskan hasil dari penelitian distribusi *pressure coefficient* (C_p) pada *octagonal elbow 90°* pertama setelah melewati rumah *fan*. Pada $s/l = 0.25$ nilai C_p antara sisi inner dan outer cenderung berhimpit dan bisa dikatakan bahwa aliran udara pada sisi ini masih *uniform*. Pada $s/l = 0.3$ sampai $s/l = 0.7$ nilai C_p pada sisi inner dan outer terdapat perbedaan yang signifikan, nilai C_p pada sisi *inner* bernilai negatif dan C_p pada sisi *outer* bernilai positif. Perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan *outer* ini mengakibatkan adanya *secondary flow*. Distribusi C_p *outer* yang lebih besar daripada *inner* menyebabkan aliran fluida bergerak menuju *inner*. Fenomena inilah yang dapat menghambat laju aliran fluida. Semakin besar perbedaan nilai C_p antara *inner* dan *outer* maka akan semakin besar pula potensi terjadinya *secondary flow* begitu pun sebaliknya, semakin kecil perbedaan nilai C_p antara

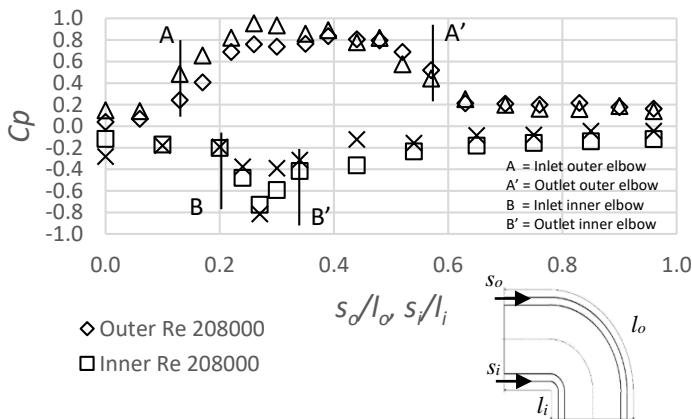


inner dan *outer* maka kemungkinan terjadinya *secondary flow* semakin kecil.

Pada $s/l = 0.7$ perbedaan nilai C_p antara *inner* dan *outer* mulai semakin kecil, dalam hal ini mulai terjadi *recovery* aliran setelah melewati *elbow*. Tekanan setelah melewati *elbow* mengalami penurunan sedangkan kecepatan setelah *elbow* akan bertambah. Namun pada $s/l = 1$ masih adanya selisih antara nilai C_p *inner* dan C_p *outer*, ini menandakan bahwa aliran belum *recovery* total.



Gambar 4.1 Distribusi C_p *inner* – *outer* octagonal elbow 90° I pada $Re = 208000$ dan $Re = 450000$



Gambar 4.2 Distribusi C_p inner – outer octagonal elbow 90° 2 pada $Re = 208000$ dan $Re = 450000$

Pada gambar 4.2 $s/l = 0$ terdapat perbedaan nilai C_p inner dan C_p outer elbow 2, ini menunjukkan bahwa aliran saat masuk elbow belum recovery dikarenakan aliran fluida lebih dulu melalui elbow 1, hal ini memicu meningkatnya nilai C_p yang diakibatkan adanya separasi aliran dan pengaruh secondary flow dari elbow 1. Perbedaan nilai C_p antara inner dan outer elbow 2 meningkat pada sekitar $s/l = 0.15$ sampai $s/l = 0.45$, ini terjadi karena aliran mulai menabrak outer dari elbow 2 yang mengakibatkan tekanan pada outer lebih besar dari tekanan inner, hal ini yang menyebabkan adanya secondary flow di dalam elbow. Perbedaan nilai C_p mulai menurun pada $s/l = 0.4$ dimana aliran fluida sudah mulai recovery, namun pada $s/l = 1$ nilai $\Delta C_p \neq 0$ karena pengaruh dari elbow 1

Perbedaan nilai C_p inner terendah dan C_p outer tertinggi didefinisikan ΔC_p maksimum. Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 dapat terlihat bahwa C_p inner terendah dan C_p outer tertinggi elbow 1 untuk $Re = 2.08 \times 10^5$ berada pada $s/l = 0.55$ dan $s/l = 0.3$, untuk elbow 2 nilai C_p inner terendah berada pada $s/l = 0.25$ dan C_p outer tertinggi pada $s/l = 0.4$. Untuk $Re = 4.5 \times 10^5$ nilai C_p inner terendah dan C_p outer tertinggi elbow 1 berada pada $s/l =$

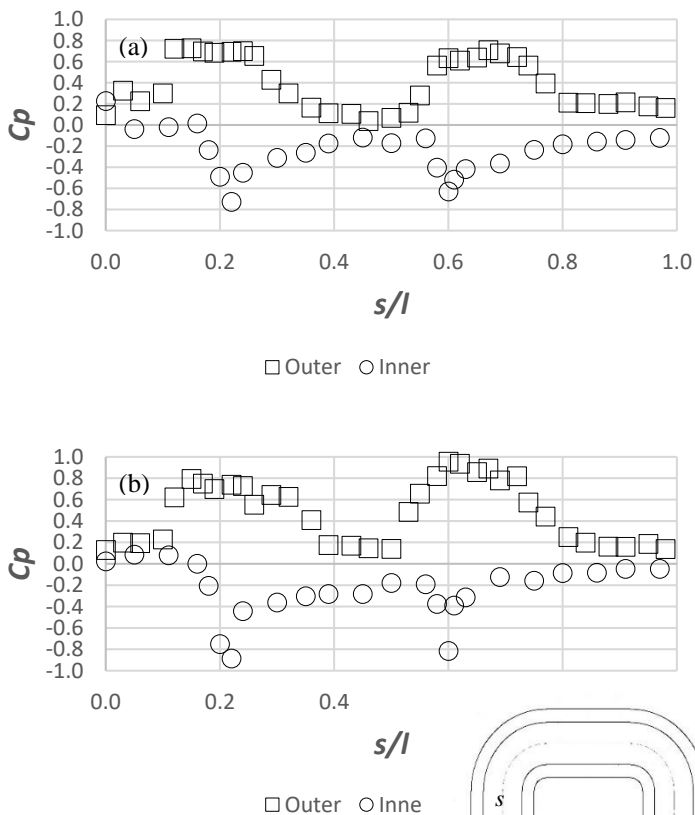


0.55 dan $s/l = 0.3$ dan *elbow* 2 keduanya berada pada $s/l = 0.25$. Pada table 4.1 nilai $\Delta C_p Re = 2.08 \times 10^5$ untuk *elbow* 1 sebesar 1.5 dan *elbow* 2 sebesar 1.6. Untuk $\Delta C_p Re = 4.5 \times 10^5$ sebesar 1.5 untuk *elbow* 1 dan 1.75 untuk *elbow* 2.

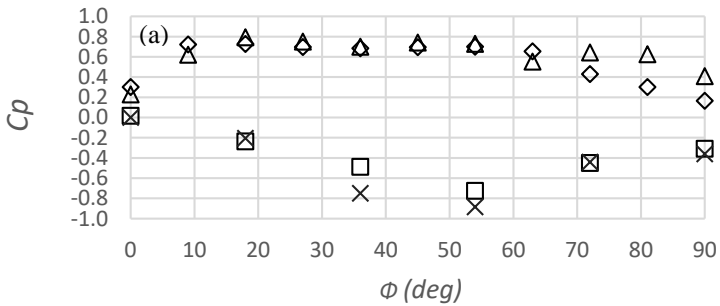
Tabel 4.1 Persentase peningkatan *wall pressure coefficient small octagonal elbow* 1 dan 2 pada $Re = 2.08 \times 10^5$ dan $Re = 3.81 \times 10^5$

<i>Re</i>	<i>Octagonal Elbow 1</i>			<i>Octagonal Elbow 2</i>			% Increase
	<i>C_p Inner min</i>	<i>C_p Outer max</i>	ΔC_p	<i>C_p Inner min</i>	<i>C_p Outer max</i>	ΔC_p	
2.08×10^5	-0.75	0.75	1.50	-0.75	0.85	1.60	6.60%
4.5×10^5	-0.70	0.80	1.50	-0.8	0.95	1.75	16.6%

Pada gambar 4.3 ditunjukkan grafik distribusi C_p dari *octagonal elbow* 1 hingga *octagonal elbow* 2. Perbedaan nilai C_p pada *elbow* 1 semakin membesar ketika melewati *elbow* 2, ini disebabkan karena aliran ketika memasuki *elbow* 2 belum *ter-recovery* seluruhnya. Pada gambar 4.4 didapatkan juga informasi nilai C_p sudut belokan dua *small octagonal elbow 90°* pada *close loop wind tunnel*. Semakin besar nilai *Reynolds number* maka semakin besar pula perbedaan nilai C_p *inner* dan C_p *outer*.

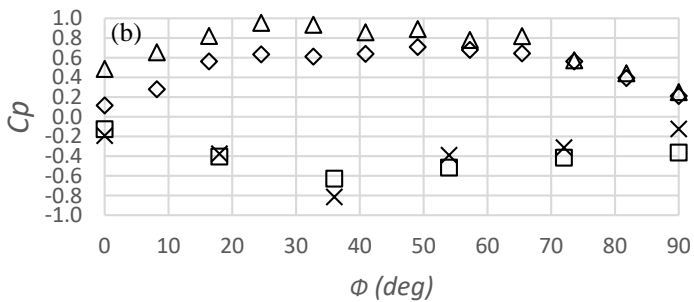


Gambar 4.3 Distribusi (a) C_p elbow 1 dan 2 pada $Re = 2.08 \times 10^5$ (b) C_p elbow 1 dan 2 pada $Re = 4.5 \times 10^5$



◇ Outer Re 208000 □ Inner Re 208000

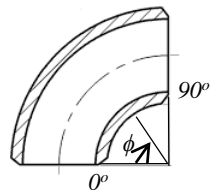
△ Outer 450000 × Inner 450000



◇ Outer Re 208000 □ Inner Re 208000

△ Outer 450000 × Inner 450000

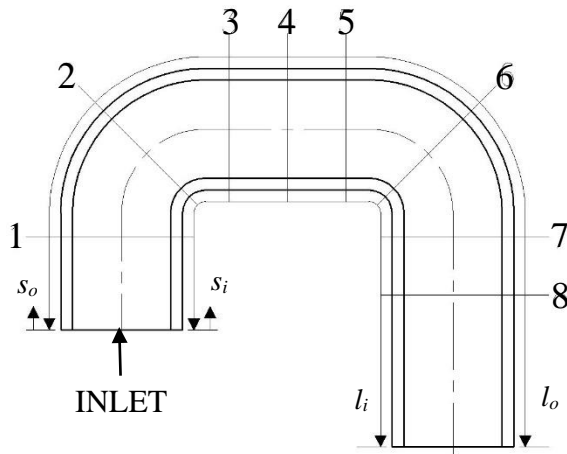
Gambar 4.4 Distribusi (a) C_p sudut belokan *elbow* 1 (b) C_p sudut belokan *elbow* 2





4.2 Distribusi Profil Kecepatan

Distribusi tekanan (*Pressure Coefficient*) aliran pada *octagonal elbow 90°* akan mempengaruhi profil kecepatan yang terjadi pada *octagonal elbow 90°* tersebut. Profil kecepatan ditampilkan dalam bentuk bilangan tak berdimensi (u/U_{ref}), dimana u adalah kecepatan lokal pada *section* tersebut dan U_{ref} merupakan kecepatan rata-rata masuk pada *inlet* saluran yang telah ditentukan, yaitu 6 m/s dan 13 m/s. Distribusi profil kecepatan ditampilkan dalam bentuk kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) terhadap fungsi posisi tak berdimensi ($(r-r_i)/b$) untuk bidang horizontal dan (z/a) untuk bidang vertikal. Pengukuran distribusi kecepatan dilakukan pada nilai $Re = 2.08 \times 10^5$ dan $Re = 4.5 \times 10^5$ atau setara dengan kecepatan 6 m/s dan 13 m/s. Distribusi profil kecepatan dikaji dalam 8 *section*, dimana lokasinya dapat dilihat pada gambar 4.5 dan tabel 4.2.



Gambar 4.5 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan *small elbow*



Tabel 4.2 Lokasi Perhitungan Untuk Profil Kecepatan *Small Elbow*

Section	si (mm)	so (mm)	si/li	so/lo
1	400	400	0.16	0.09
2	579	987	0.23	0.23
3	757	1574	0.3	0.37
4	1007	1824	0.4	0.43
5	1257	2074	0.5	0.5
6	1436	2661	0.57	0.64
7	1614	3248	0.64	0.78
8	1864	3498	0.74	0.84

4.2.1 Profil Kecepatan Pada Bidang Horizontal

Pada gambar 4.6 akan ditampilkan distribusi profil kecepatan pada bidang horizontal untuk beberapa *section* pada *octagonal elbow* 1 dan *octagonal elbow* 2 yang dikaji pada $Re = 2.08 \times 10^5$ dan $Re = 4.5 \times 10^5$.

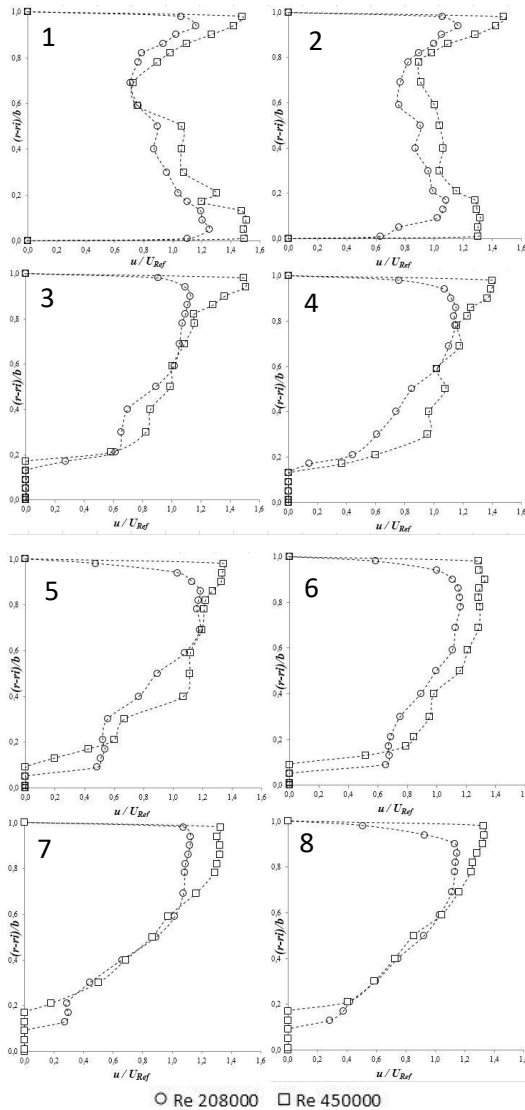
Pada *section* 1 dan *section* 2 terlihat bahwa profil kecepatan terdapat daerah kecepatan rendah pada daerah *centerline* ($(r-r_i)/b \approx 0.7$) yang disebabkan karena adanya mesin penggerak di bagian *hub fan* yang menimbulkan *wake* yang dapat mengganggu aliran. Profil kecepatan *section* 3 berada pada bagian *outlet elbow* 1 dimana terdapat *secondary flow* dikarenakan tekanan pada sisi *outer* lebih besar dibandingkan sisi *inner* hal ini yang menyebabkan aliran fluida bergerak menuju *inner*, pada *section* 3 juga terdapat *backflow* pada $(r-r_i)/b \leq 0.2$ karena perbedaan tekanan sisi *outer* dan *inner* sangat besar.

Profil kecepatan *section* 4 dan 5 masih terdapat *backflow* namun nilainya sudah berkurang, yaitu pada $(r-r_i)/b \leq 0.15$ untuk *section* 4 dan $(r-r_i)/b \leq 0.1$ untuk *section* 5. Aliran pada *section* 4 dan 5 sudah meningkat kecepatannya tetapi masih terdapat profil kecepatan rendah pada sisi *centerline* ($(r-r_i)/b \approx 0.6$ dan $(r-r_i)/b \approx$



0.3). Hal ini disebabkan *wake* dari *hub fan* masih mempengaruhi aliran. Pada *section 6*, aliran memasuki *elbow 2* namun aliran belum *ter-recovery* sehingga masih terdapat *backflow* yang disebabkan oleh *elbow 1*. Daerah kecepatan rendah pada sisi *centerline* sudah mulai mengecil dikarenakan pengaruh *wake* dari *hub fan* sudah mulai hilang. Saat aliran berada pada *outlet elbow 2* yaitu, pada *section 7* nilai *backflow* kembali meningkat ($(r-r_i)/b \leq 0.2$), hal ini dikarenakan aliran belum *ter-recovery* namun sudah memasuki *elbow* sehingga nilai tekanan pada sisi *outer* semakin meningkat dan tekanan pada sisi *inner* semakin menurun. Pada *section 8*, *back flow* masih berada pada $(r-r_i)/b \leq 0.2$ namun pengaruh *wake* dari *hub fan* sudah hilang, hal tersebut terlihat pada bagian *centerline* yang mulai bertambah kecepatannya. Untuk kasus ini, untuk aliran menjadi seragam dibutuhkan jarak yang lebih panjang.

Dalam proses pengukuran menggunakan *Pitot static tube*, adanya *backflow* pada profil kecepatan aliran ditandai dengan nilai $u/U_{ref} = 0$, dikarenakan *Pitot static tube* tidak dapat membaca nilai tekanan dinamis pada posisi tersebut.



Gambar 4.6 Distribusi Profil Kecepatan Pada Bidang Horizontal Pada $Re = 208000$ dan $Re = 450000$

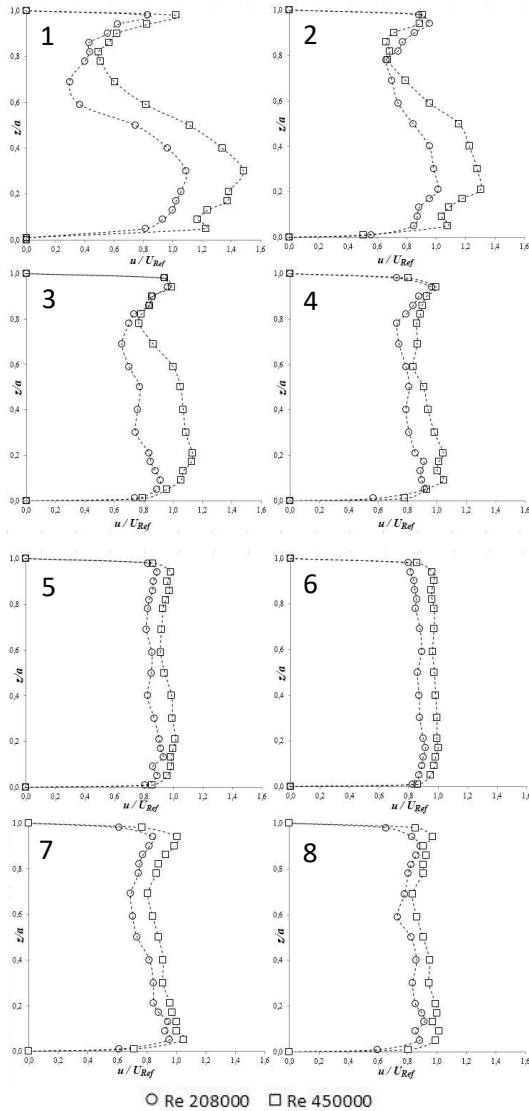


4.2.2 Profil Kecepatan Pada Bidang Vertikal

Gambar 4.6 ditampilkan distribusi profil kecepatan pada bidang vertikal pada *octagonal elbow* yang dikaji pada $Re = 2.08 \times 10^5$ dan $Re = 4.5 \times 10^5$, pengambilan data diambil dari *lower wall* sampai dengan *upper wall*.

Pada *section 1* terdapat kecepatan rendah pada sisi *centerline* ($z/a \approx 0.7$ dan $z/a \approx 0.8$) karena adanya pengaruh *wake* yang disebabkan adanya *hub* dari *fan* dengan sisi *inner* kecepatannya lebih besar daripada sisi *outer*. Aliran mulai bertambah kecepatannya pada *section 2* namun masih terdapat pengaruh *wake* akibat *hub* dari *fan* yang cukup besar. Pada *section 3* aliran berada pada daerah *outlet elbow 1*, dimana terdapat *secondary flow* jika dilihat searah horizontal, sehingga aliran bergerak dari sisi *outer* menuju *inner*. Aliran mulai bertambah kecepatannya pada *section 4* namun masih terdapat kecepatan rendah pada sisi *centerline* ($z/a \approx 0.8$ dan $z/a \approx 0.6$), hal ini menandakan bahwa pada *section 4* masih terdapat *secondary flow*.

Section 5 dan *6* aliran sudah mulai mendekati seragam, dimana nilai C_p pada *section* ini cenderung berhimpit. Ketika aliran berada pada *section 7* di mana *section 7* merupakan *outlet* dari *elbow 2*, kembali terdapat profil kecepatan rendah pada $z/a \approx 0.6$ akibat adanya pengaruh *elbow 2*. Nilai C_p pada sisi *outer* lebih besar dari nilai C_p pada sisi *inner*, sehingga aliran bergerak dari *outer* menuju *inner*. Hal ini yang menyebabkan adanya *secondary flow*, semakin besar perbedaan antara nilai C_p *outer* dan nilai C_p *inner* maka semakin besar juga kemungkinan terjadinya *secondary flow*. Pada *section 8* aliran mulai bertambah kecepatannya kembali dikarenakan aliran ter-*recovery* saat melewati *straight channel*. Nilai C_p pada sisi *outer-inner* *section 8* cenderung berhimpit, dan *secondary flow* akibat *elbow 2* mulai menghilang, di mana pada *section* ini aliran sudah memasuki *straight channel*, namun pada *section* ini aliran belum ter-*recovery* maksimal. Aliran akan ter-*recovery* maksimal dan menjadi seragam dibutuhkan jarak yang lebih panjang.

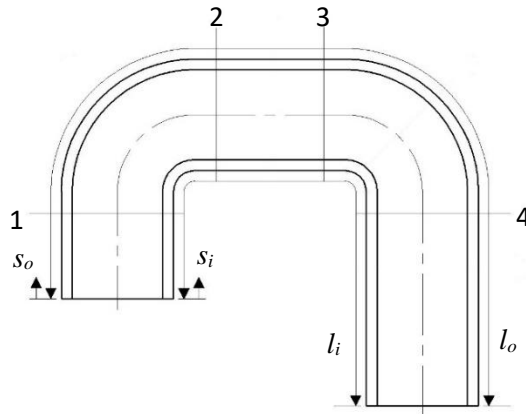


Gambar 4.7 Distribusi Profil Kecepatan Pada Bidang Vertikal Pada $Re = 208000$ dan $Re = 450000$



4.3 Intensitas Turbulensi

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran intensitas turbulensi pada *inlet* dan *outlet small octagonal elbow closed-loop wind tunnel* untuk mengetahui fluktuasi aliran ketika melewati kedua *elbow*. Perhitungan intensitas turbulensi menggunakan persamaan 2.6. Pengukuran intensitas turbulensi menggunakan *pressure transducer* dan DaqPRO yang dihubungkan dengan laptop yang sudah ter-*install* aplikasi DaqLab. Pengaturan *logger* pada DaqPRO dengan pengambilan data sebanyak 100 sampel/s selama 10 detik. Pengambilan data berada pada posisi *centerline channel* pada posisi *s/l* seperti pada tabel 4.3.



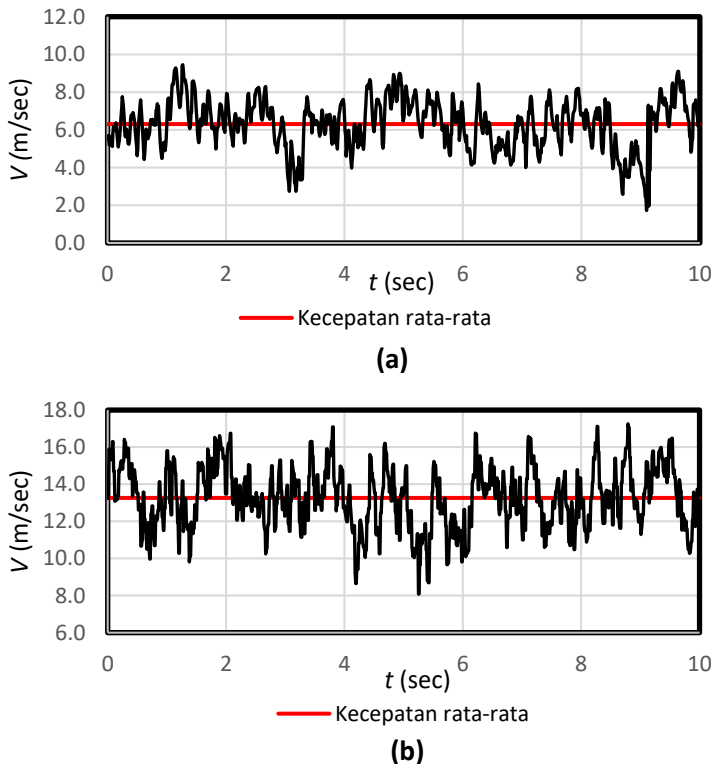
Gambar 4.8 Lokasi pengambilan intensitas turbulensi *small elbow*

Tabel 4.3 Lokasi pengambilan intensitas turbulensi *small elbow*

Section	s_i (mm)	s_o (mm)	s_i/l_i	s_o/l_o
1 (<i>inlet elbow 1</i>)	400	400	0.16	0.09
2 (<i>outlet elbow 1</i>)	757	1574	0.3	0.37
3 (<i>inlet elbow 2</i>)	1257	2074	0.5	0.5
4 (<i>outlet elbow 2</i>)	1614	3248	0.64	0.78

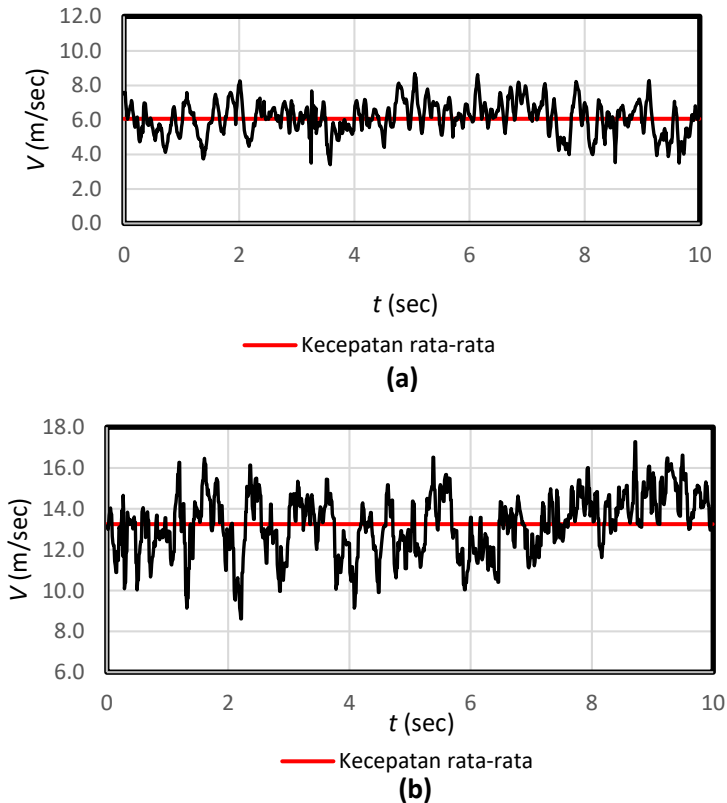


Pengambilan data divariasikan dengan bilangan *Reynolds* 2.08×10^5 dan 4.5×10^5 kemudian didapatkan grafik kecepatan (U_n) terhadap waktu (t) (gambar 4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12).



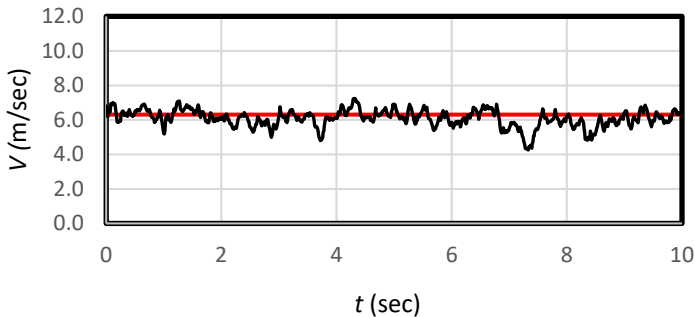
Gambar 4.9 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara *inlet elbow* 1 pada (a) $Re = 2.08 \times 10^5$ (b) $Re = 4.5 \times 10^5$

Pada gambar 4.9 dan 4.10 ditunjukkan bahwa kecepatan aliran udara pada *inlet* dan *outlet elbow* 1 selalu berfluktuasi terhadap waktu disetiap bilangan *Reynolds*. Dari data pada tabel 4.4 dapat diketahui bahwa nilai intensitas turbulensi semakin menurun di setiap peningkatan nilai bilangan *Reynolds*.



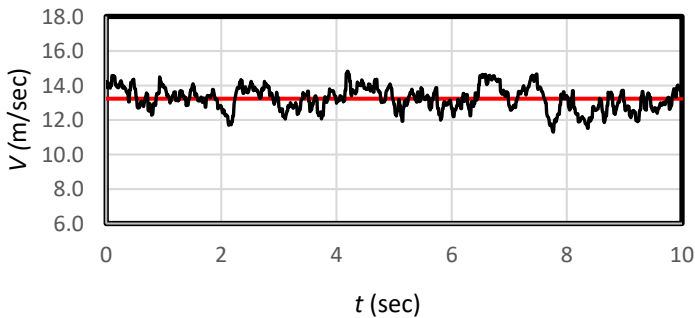
Gambar 4.10 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara *outlet elbow 1* pada (a) $Re = 2.08 \times 10^5$ (b) $Re = 4.5 \times 10^5$

Fluktuasi kecepatan untuk *elbow 2* ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12. Fluktuasi kecepatan untuk *elbow 2* lebih rendah dibandingkan dengan *elbow 1*. Hal ini disebabkan karena *elbow 1* mempengaruhi fluktuasi kecepatan, dimana aliran mengalami perubahan arah. Nilai intensitas turbulensi pada *elbow 2* juga mengalami penurunan jika dibandingkan dengan intensitas turbulensi *elbow 1*.



— Kecepatan rata-rata

(a)



— Kecepatan rata-rata

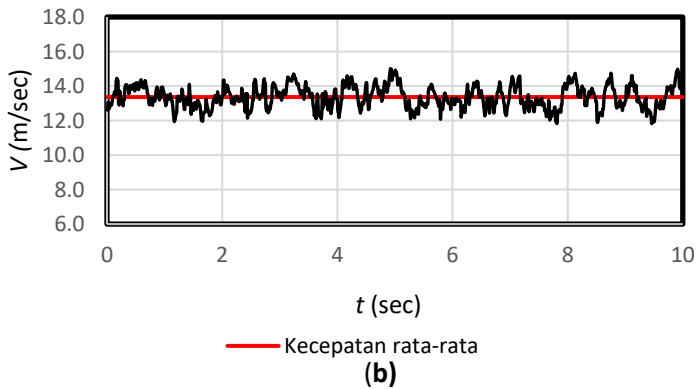
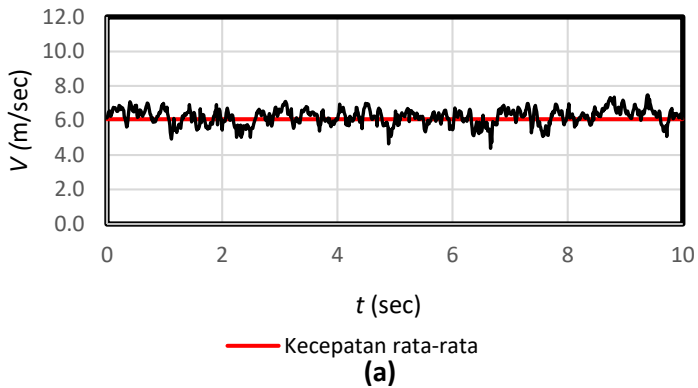
(b)

Gambar 4.11 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara *inlet elbow* 2 pada (a) $Re = 2.08 \times 10^5$ (b) $Re = 4.5 \times 10^5$

Pada tabel 4.3 dibandingkan nilai intensitas turbulensi *inlet* dan *outlet* pada *elbow*. Pada bilangan *Reynolds* tinggi nilai intensitas turbulensi lebih kecil dibandingkan intensitas turbulensi pada bilangan *Reynolds* rendah, hal ini dikarenakan pada *Reynolds* tinggi, kecepatan rata-rata (\bar{U}) pada *section* tersebut meningkat, sehingga bila standar deviasi fluktuasi kecepatan (u') dibagi dengan



kecepatan rata-rata (\bar{U}) pada section tersebut hasilnya akan berkurang.



Gambar 4.12 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara *outlet elbow 2* pada (a) $Re = 2.08 \times 10^5$ (b) $Re = 4.5 \times 10^5$



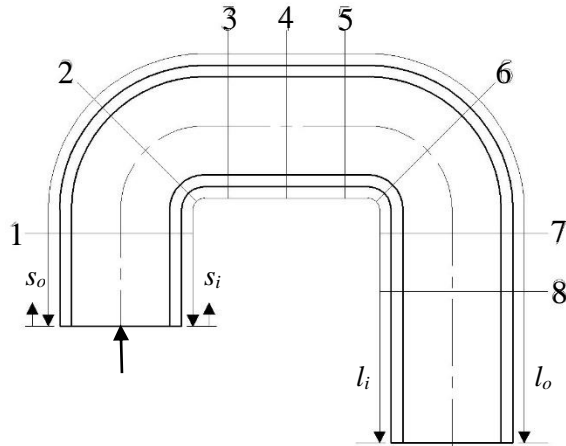
Tabel 4.4 Perbandingan nilai intensitas turbulensi pada *inlet* dan *outlet elbow* setiap variasi *Reynolds*

Bilangan <i>Reynolds</i>	<i>IT (%)</i>			
	<i>Elbow 1</i>		<i>Elbow 2</i>	
	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
2.08×10^5	20.75	15.91	8.14	7.36
4.5×10^5	12.83	11.30	5.14	4.86

Secara umum, nilai intensitas turbulensi pada *elbow 1* dipengaruhi oleh tidak adanya *screen* pada sisi *upstream elbow*, adanya pengaruh *wake* yang disebabkan oleh *hub* dari *fan* yang mengganggu aliran di sisi *centerline*. Pada *elbow 2*, nilai intensitas turbulensi dipengaruhi oleh adanya *elbow 1* sebelum *elbow 2* sehingga aliran mengalami perubahan arah sebanyak dua kali.

4.4 Profil Intensitas Turbulensi

Gambar 4.14 ((a) dan (b)) menunjukkan profil intensitas turbulensi pada bidang horizontal dan gambar 4.15 ((a) dan (b)) menunjukkan profil intensitas turbulensi pada bidang vertikal untuk bilangan *Reynolds* 4.5×10^5 . Pengukuran diambil pada *section 1* ($s_i/l_i = 0.16$, $s_o/l_o = 0.9$) dan *section 2* ($s_i/l_i = 0.23$, $s_o/l_o = 0.23$) untuk bidang horizontal, dan *section 1* ($s_i/l_i = 0.16$, $s_o/l_o = 0.9$) dan *section 3* ($s_i/l_i = 0.3$, $s_o/l_o = 0.37$) untuk bidang vertikal.



Gambar 4.13 Lokasi Pengukuran Profil Intensitas Turbulensi *small octagonal elbow*

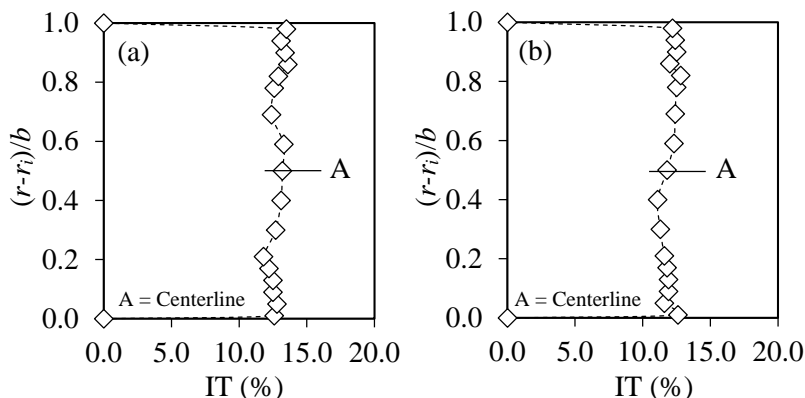
Tabel 4.5 Lokasi pengukuran profil intensitas turbulensi *small octagonal elbow*

Section	s_i (mm)	s_o (mm)	s_i/l_i	s_o/l_o
1	400	400	0.16	0.09
2	579	987	0.23	0.23
3	757	1574	0.3	0.37
4	1007	1824	0.4	0.43
5	1257	2074	0.5	0.5
6	1436	2661	0.57	0.64
7	1614	3248	0.64	0.78
8	1864	3498	0.74	0.84

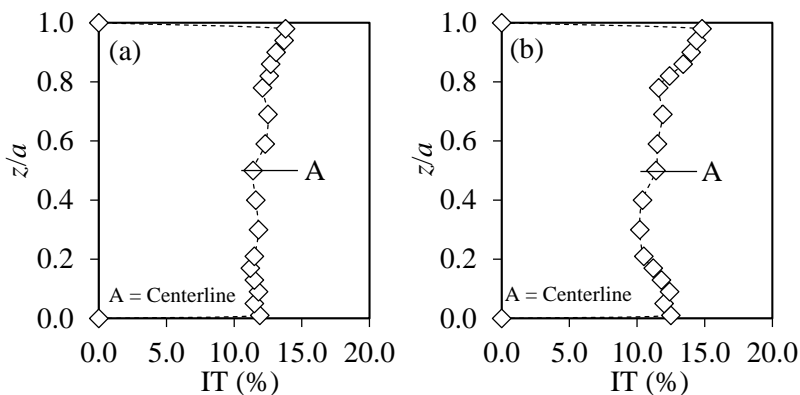
Gambar 4.14 menunjukkan terjadi penurunan nilai intensitas turbulensi dari *section 1* (IT rata-rata 12.83%) menuju *section 2* (IT rata-rata 12.04%). Hal ini dikarenakan mulai terjadi perubahan arah aliran saat berada di dalam *elbow* sehingga nilai



kecepatan rata-rata meningkat. Intensitas turbulensi pada *section 3* (gambar 4.15 (b)) berada pada 11.40% di *centerline* ($z/a = 0.5$), untuk posisi $z/a < 0.1$ berada pada sekitar 12.30% dan untuk $z/a > 0.9$ berada pada sekitar 14.40%. Menurunnya nilai intensitas turbulensi pada *section 3* disebabkan karena perubahan arah aliran setelah melewati *elbow*.



Gambar 4.14 Profil Intensitas Turbulensi (a) *section 1* (b) *section 2*, pada bidang horizontal



Gambar 4.15 Profil Intensitas turbulensi (a) *section 1* (b) *section 3*, pada bidang vertikal



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pembahasan studi eksperimen karakteristik aliran melalui *small octagonal elbow 90°* pada *closed-loop wind tunnel* telah menghasilkan data-data kuantitatif. Penelitian ini menggunakan dua bilangan *Reynolds*, yaitu pada $Re = 2.08 \times 10^5$ dan $Re = 4.50 \times 10^5$. Berdasarkan data-data kuantitatif tersebut dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi C_p pada kedua *elbow* menunjukkan tekanan pada sisi *inner wall* lebih kecil daripada sisi *outer wall*. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya *secondary flow* pada kedua *elbow* tersebut.
2. Nilai C_p pada *elbow* 2 lebih besar dibandingkan dengan C_p *elbow* 1 yang di akibatkan aliran belum ter-*recovery* saat memasuki *elbow* 2. Peningkatan ΔC_p pada *elbow* 2 sebesar 6.60% dari ΔC_p *elbow* 1 pada $Re = 2.08 \times 10^5$ dan sebesar 16.60% pada $Re = 4.50 \times 10^5$.
3. Profil kecepatan pada *section* 1 dan 2 terdapat daerah kecepatan rendah akibat adanya *wake* yang disebabkan adanya *hub fan* pada inlet *elbow* 1. Adanya *backflow* pada *section* 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 yang disebabkan karena perbedaan tekanan pada sisi *outer* dan *inner elbow*. Aliran pada saat keluar *elbow* 2 belum ter-*recovery* maksimal sehingga diperlukan jarak yang lebih panjang untuk aliran menjadi seragam.
4. Intensitas turbulensi pada sisi *inlet elbow* 1 pada bilangan *Reynolds* 2.08×10^5 ($IT = 20.75\%$) dan bilangan *Reynolds* 4.50×10^5 ($IT = 12.83\%$) lebih besar dari sisi *outlet elbow* 1 ($IT = 15.91\%$ dan $IT = 11.30\%$) karena adanya *wake* dari *hub fan* yang dapat mempengaruhi aliran. Intensitas turbulensi *outlet elbow* 2 ($IT = 7.36\%$ dan $IT = 4.86\%$) lebih kecil dibandingkan dengan *inlet elbow* 1 ($IT = 20.75\%$ dan $IT =$



12.83%) karena perubahan arah aliran ketika melewati *elbow* dapat mempengaruhi nilai intensitas turbulensi.

5. Semakin tinggi nilai bilangan *Reynolds* maka semakin menurun nilai intensitas turbulensi, karena pada bilangan *Reynolds*, kecepatan rata-rata (\bar{U}) pada *section* tersebut meningkat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian eksperimen yang dilakukan terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan antara lain:

1. Perlu diperhatikan distribusi tekanan sepanjang *wind tunnel* sebelum pengambilan data, sehingga peneliti dapat menentukan tipe *pressure transducer* dan *Pitot tube* yang sesuai.
2. Pada penelitian tidak boleh mengabaikan faktor suhu ruangan, suhu instalasi percobaan dan faktor-faktor teknis seperti kebocoran pada sambungan atau lubang *Pitot tube*.
3. Perlu adanya kajian numerik tentang pengaruh instalasi *hub* dari *fan* pada sisi *upstream elbow*.
4. Sebaiknya pada sisi *inlet elbow* 1 (antara *fan* dan *elbow* 1) dilengkapi dengan *screen* untuk mengurangi pengaruh *wake* yang disebabkan oleh *hub* dari *fan*, sehingga aliran saat memasuki *inlet elbow* 1 dapat lebih seragam.



DAFTAR PUSAKA

- Abel, Adam Bryan. 2016. **Studi Eksperimen Aliran Melalui Octagonal Elbow 90° Dilengkapi Dua Guide Vane Pada Closed Circuit Windtunnel**. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin. FTI-ITS. Surabaya.
- Cheng, Dah Y. 1994. **Laminar Flow Elbow System and Method**. U.S. Patent Document, No. US5197509 A.
- Danbon, F. & Sollicec, C. 2000. **Aerodynamic Torque of Butterfly Valve-Influence of an Elbow on The Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque**. J. Fluids Engineering, vol. 122, p. 337-344.
- Fox, R.W., & McDonald, A. T. 1998. **Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics (Fifth edition)**, John Wiley & Sons, New York, NY.
- Gonzales, Miguel. 2013. **Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel**. Science Direct. Spanyol.
- Hakim, Amir. 2008. **Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Dua Guide Vanes terhadap Pressure Drop Aliran didalam Rectangular Elbow 90° studi kasus untuk angka Reynolds $2,1 \times 10^4$ dan $8,4 \times 10^4$** . Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin. FTI-ITS. Surabaya.
- Kim, W.J. & Patel, C. 1994. **Influence of Streamwise Curvature on Longitudinal Vortices Imbeded in Turbulent Boundary Layer**. J. Computer Fluids, vol 23: p. 647-673.
- Libii, Josué Njock. 2011. **Wind Tunnel in Engineering Education, Wind Tunnel and Experimental Fluid Dynamic Research**. Prof. Jorge Colman Lerner (Ed.), ISBN: 978-953-307-623-2, In Tech. Croatia.



- Marn, Jure, & Primoz, Ternik. 2006. **Laminar Flow of a Shear-Thickening Fluid in a 90° Pipe Bend**. Fluid Dynamics Research, vol 38, Issue 5, p. 295-312.
- Miller, Donald S. 1990. **Internal Flow System (Second edition)**. BHRA (Information Service), United Kingdom.
- Sutardi, Wawan A.W., Ibnu Affan, Iswati dan Sutrisno. 2010. **Experimental Study on The Effect of Guide Vane Insertion abd Reynolds Numbers on The Flow Pressure Drop in a 90° Rectangular Elbow**. Journal. Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 27 Agustus 1992 di Jakarta. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDI Darunnajah Jakarta, SMPN 177 Jakarta, dan SMAN 47 Jakarta dengan bidang studi IPA. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin dan mengambil bidang studi Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2010. Pada tahun 2015 penulis meneruskan pendidikan di S1 Teknik Mesin ITS. Penulis sangat berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: anantrisetya@gmail.com